

MAGYAR ÁLLAMI
EÖTVÖS LORÁND
GEOFIZIKAI INTÉZET

GEOFIZIKAI KÖZLEMÉNYEK

ВЕНГЕРСКИЙ
ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ
ИМ Л. ЭТВЕША

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ
БЮЛЛЕТЕНЬ

GEOPHYSICAL

T R A N S A C T I O N S

EÖTVÖS LORÁND GEOPHYSICAL INSTITUTE OF HUNGARY

CONTENTS

Geophysical results of the multinational DANREG project.	<i>L. Nemesi</i>	95
Preface	<i>J. Hricko</i> <i>W. Seiberl</i>	
Gravity maps — border zone of Austria, Slovakia and Hungary	<i>J. Šefara</i> <i>Z. Szabó</i>	101
Magnetic anomalies in the area of the DANREG project	<i>W. Seiberl</i> <i>S. Kovácsvölgyi</i> <i>J. Šefara</i> <i>Z. Szabó</i>	123
Geophysical exploration of Quaternary formations in the area of the DANREG project	<i>P. Draskovits</i> <i>H. Tkáčová</i> <i>L. Sőrés</i>	133
Results of deep geophysical survey within the framework of the DANREG project	<i>L. Nemesi</i> <i>J. Šefara</i> <i>G. Varga</i> <i>S. Kovácsvölgyi</i>	143

VOL. 41. NO. 3-4. MAY 1997. (ISSN 0016-7177)



BUDAPEST

TARTALOMJEGYZÉK

A Nemzetközi DANREG program geofizikai kutatási eredményei. Előszó	<i>Nemesi L. J. Hricko W. Seiberl</i>	98
Gravitációs térképek — Ausztria, Szlovákia és Magyarország közös határterületein	<i>J. Šefara Szabó Z.</i>	119
Mágneses anomáliák a DANREG projekt területén	<i>W. Seiberl Kovácsvölgyi S. J. Šefara Szabó Z.</i>	131
A negyedkori összlet geofizikai kutatása a DANREG területen	<i>Draskovits P. H. Tkáčová Sörös L.</i>	140
A nagymélységű kutatások eredményei a DANREG területen	<i>Nemesi L. J. Šefara Varga G. Kovácsvölgyi S.</i>	156

Lapunk az Ipar Műszaki Fejlesztéséért Alapítvány támogatásával készült.

Geophysical results of the multinational DANREG project Preface

László NEMESI^{*}, Jozef HRICKO^{**}, Wolfgang SEIBERL^{***}

The Earth Science Departments of the Academy of Sciences of Slovakia and that of Hungary proposed in 1989 to unify the geological and geophysical results along the border. The reason was that the term 'country border' has no geological meaning; at the same time the existing geological and geophysical maps were full of contradictions along the border. To illustrate these contradictions two examples have been chosen from the most recent results. The first one is the contour map of the pre-Tertiary basement; the respective national geological institutes of the two countries published this map in both countries in 1987. If one attempts to copy these two maps together it becomes obvious even without knowing the legend (*Fig. 1*) that neither the formation boundaries nor the tectonic and contour lines of the basement are continuous across the border. The reason is basically the lack of data, insufficiency of wells and geophysical investigations, and negligence of the synthesis of geological and geophysical results. The outcome is very similar if geophysical maps published earlier are considered. In *Fig. 2* the magnetic maps copied together can be seen. In spite of the almost equal station density, lack of connection between the reference levels (base stations), adjustment of airborne and ground measurements causes differences even within the same country.

* Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary (ELGI)
H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17-23, Hungary

** GEOCOMPLEX a.s., 82207 Bratislava, Geologická 21, Slovakia

***Geologische Bundesanstalt, 1031 Wien, Rasumofskygasse 23, Austria

In addition to the scientific issues the contradictions in geological and geophysical knowledge give rise to problems in everyday life, too. Among the examples one might mention are management of raw material deposits, surface and underground water reserves, thermal water, matters dealing with the seismic safety of large-scale constructions (e.g. nuclear power plants, barrage systems), etc.

The DANREG project was launched in 1990 when the geological institute of Slovakia (Geologický Ústav Dionýza Štura, GÚDŠ) and the Central Office of Geology (KFH) of Hungary signed an agreement. The work started at the western third of the common border. The Geological Survey of the western neighbour of both countries, Austria (Geologische Bundesanstalt, GBA), also joined the project in the same year. Thus, the investigations carried out by the three countries covered an area of 20,000 km², shown in *Fig. 3*. Several geological and geophysical teams were formed, with members from different institutions in all the three countries, possessing data and knowledge in a specific field. On the basis of the original programme the Coordinating Board expected only a gravity Bouguer-map, a magnetic map and a 'geoelectric' map from the geophysicists. The geophysical teams came to the conclusion, however, within a short time after collecting the data in the first years, connecting the base stations with measurements and establishing common databases that there was lack of data in many areas. One of the largest underground fresh water reservoirs in Europe, the detrital cone of 3000 km² lateral extension was, for example, hardly known vertically (only a dozen wells penetrated the detrital cone of Quaternary age). The situation was by no means better concerning the location and connections of the structural line separating the European and African plates (the Rába–Hurbanovo–Diósjenő line), or the nature of the Mur–Mürz line running along the western edge of the Vienna Basin (strike-slip, subduction zone?). In the framework of the DANREG project a certain amount of funding became available in all three countries enabling this insufficiency in knowledge to be reduced by means of geophysical measurements, as a consequence of which unforeseen results also were achieved. From the scientific point of view the most significant of them is probably the new knowledge about the crust and mantle structure deduced from the integrated interpretation of gravity, magnetic, seismic and magnetotelluric measurements. According to this, beneath the 8 km deep Neogene basin lying between Bratislava and Győr the crust is thinner and the asthenosphere is supposedly elevated (mantle plume).

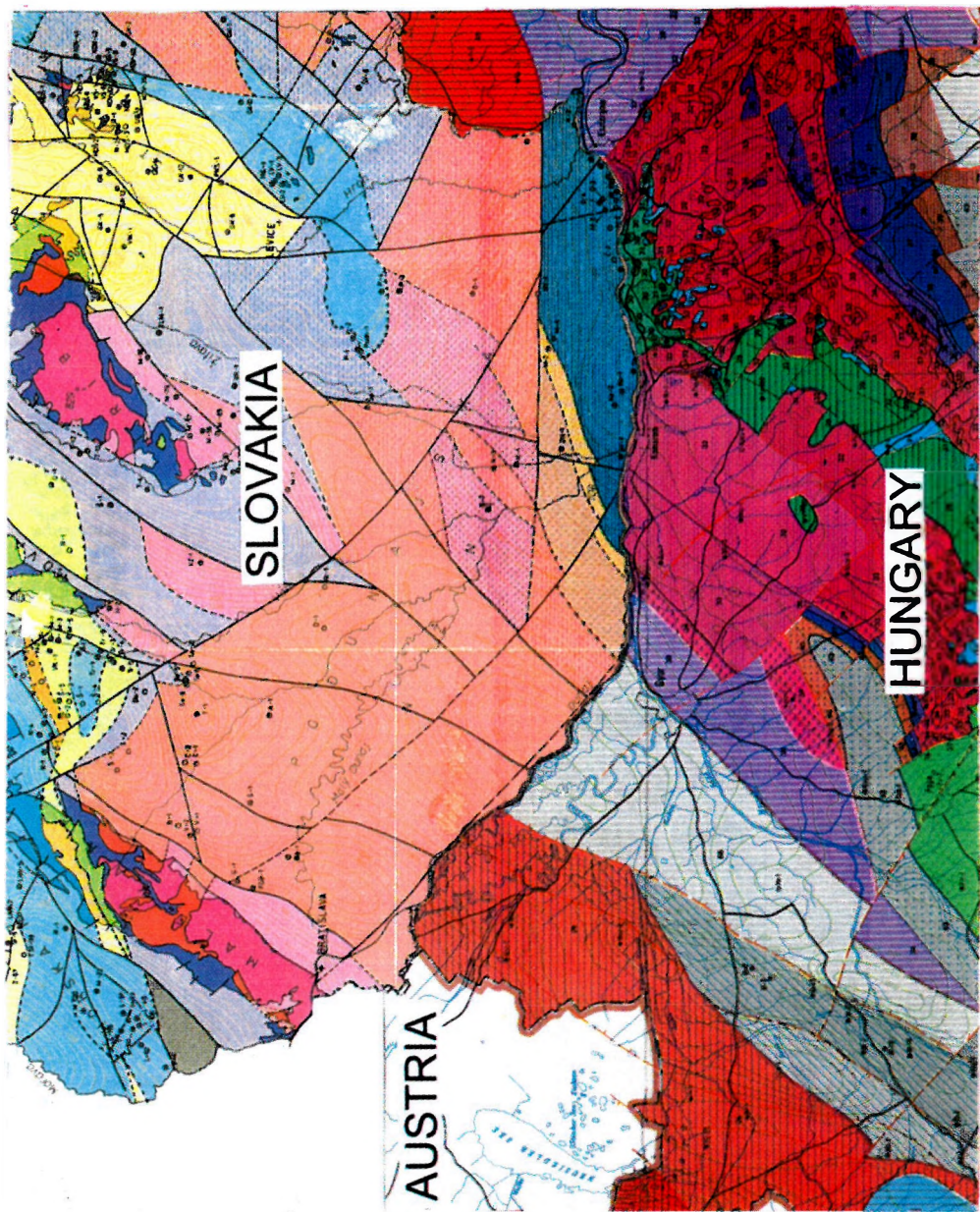


Fig. 1. Parts of the pre-Tertiary maps of Slovakia and Hungary, scale 1:500 000, copied together. Original titles of the maps: Slovak part: Tectonic map of basement of Tertiary [O. FUSAN 1987], Hungarian part: Geological map of Hungary without Cenozoic sediments [J. FÜLÖP, V. DANK 1987]

1. ábra. Egymás mellé másolt részletek Szlovákia és Magyarország 1:500 000 méretarányú pretercier földtani térképéből. A térképek eredeti címei: szlovák rész: Tectonic map of basement of Tertiary [O. FUSAN 1987], magyar rész: Geological map of Hungary without Cenozoic sediments [J. FÜLÖP, V. DANK 1987]

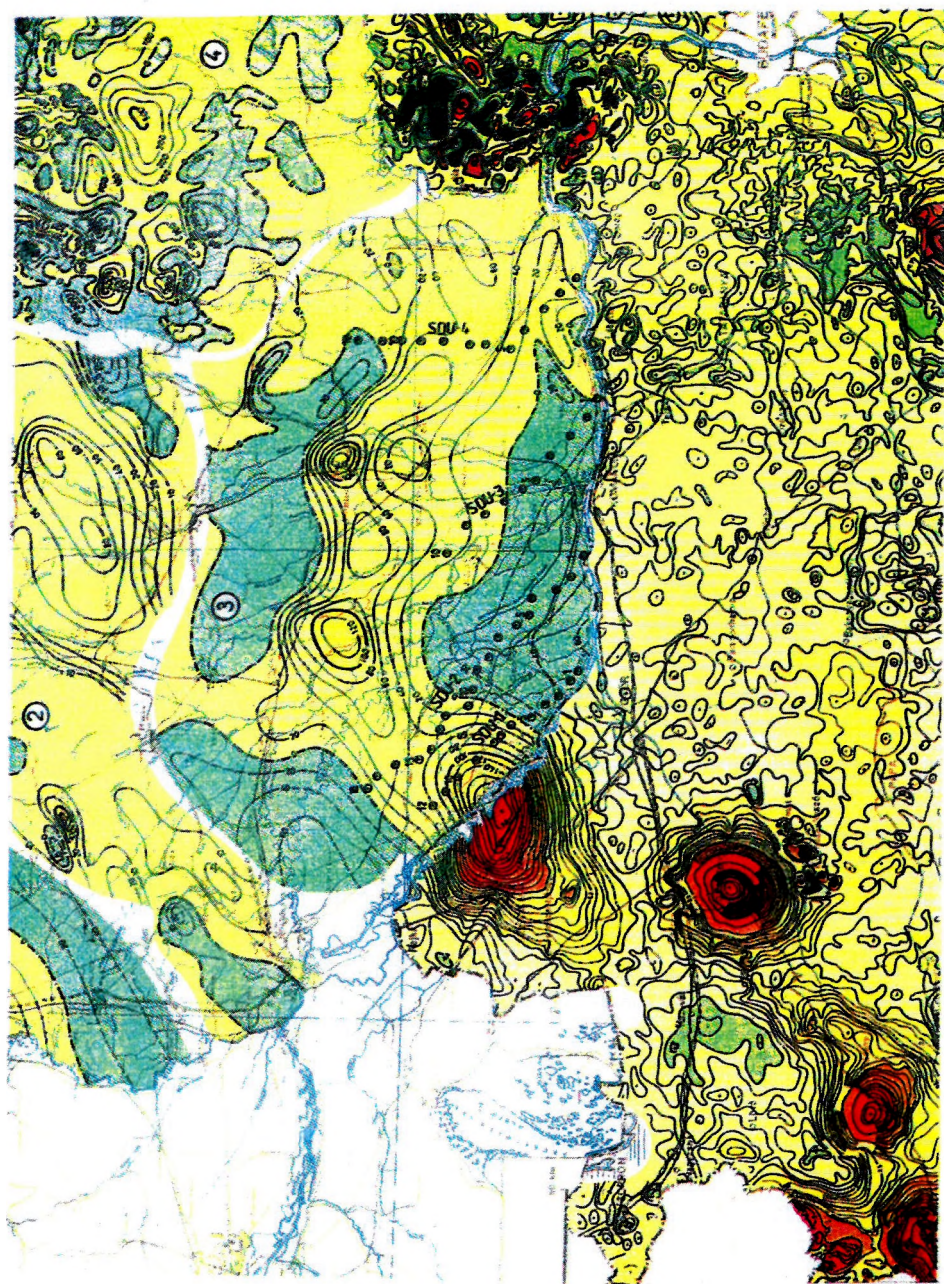


Fig. 2. Parts of the magnetic anomaly maps of Slovakia and Hungary, scale 1:500 000, copied together

2. ábra. Egyrészt másolt részletek Szlovákia és Magyarország 1:500 000 méretarányú mágneses anomália térképeiből

In our opinion, based on these results, a brief summary of this cooperative effort is well worth publishing and — even independently of the novelties — the conclusion can be drawn that unification of geoscience data along the border and their common interpretation are of great importance.

More than 30 geophysicists from the three countries took part in the project; as a form of acknowledgement they are listed below. Without their exemplary professionalism, their willingness to cooperate, and their exemplary self-effacement these results could not have been achieved.

The scientists themselves wish to express here their thanks to their respective ministries, various higher authorities, institutions and numerous colleagues for their whole-hearted collaboration and for their devoted work.

Those taking part in the geophysical investigations of the DANREG project

In *Slovakia* the work started under the supervision of Dušan OBERNAUER, it continued with the guidance of Peter DŽUPPA, and it was completed under the leadership of Jozef HRICKO. All the above were deputy directors of Geofyzika Bratislava, and then its legal successor, GEOCOMPLEX a. s., Bratislava. In *Austria*, Wolfgang SEIBERL, Chief Geophysicist of the GBA and geophysics professor at Vienna University supervised the work. In *Hungary* László NEMESI, Senior Research Officer of the Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary directed the work.

The Gravity Team used data of ÖMV, Vienna University and Leoben University in Austria; B. MEURERS took part in construction of the unified map. In Slovakia, J. ŠEFARA, T. GRAND, J. MIKUŠKA, V. SZALAI OVÁ and M. PIOVARCI worked on the project, using the data of Geofyzika Bratislava and Geofyzika Brno. In Hungary, Z. SZABÓ, S. KOVÁCSVÖLGYI, Z. PÁNCICS, G. CSAPÓ, L. SCHÖNVISZKY worked on the project, using the database of ELGI.

The Magnetic Team worked under the guidance of Professor W. SEIBERL. Working on the project in Austria G. OBERLERCHER and R. ARNDT were using the data of GBA; in Slovakia, M. FILO, P. KUBEŠ, using the data of Geofyzika Bratislava, in Hungary, S. KOVÁCSVÖLGYI, L. SCHÖNVISZKY and Z. PÁNCICS, using the data of ELGI.

In the investigation programme of Quaternary formations were H. TKÁČOVÁ, S. MEDO and P. HLADIK in Slovakia, using the data of GEOCOMPLEX, and P. DRASKOVITS, J. DUDÁS, J. HOBOT and L. SÓRÉS in Hungary, using the data of ELGI.

In investigations of base Pannonian (Pliocene), pre-Tertiary basement, structure of crust and mantle J. ŠEFARA and I. HRUŠECKÝ took part in Slovakia, using the data of Geofyzika Bratislava, Geofyzika Brno and the reprocessed seismic data of the MAXUS company.

In Hungary, data of OKGT and ELGI provided the basis and the GEOS Economic Cooperative and ELGI constructed the maps. Starting from these and using more recent data of ELGI L. NEMESI, Z. SZABÓ, Zs. SZEIDOVITZ, G. VARGA, S. KOVÁCSVÖLGYI and Z. PÁNCICS constructed new maps. From the Austrian side W. SEIBERL and R. ARNDT took part in the common interpretation.

László VERŐ reviewed the maps and the text and he translated the bulk of the latter into English. Oszkár ÁDÁM was the other reviewer. The authors wish herewith to extend grateful thanks to them.

A nemzetközi DANREG program geofizikai kutatási eredményei **Előszó**

NEMESI László, JOZEF HRICKO, WOLFGANG SEIBERL

A szlovák és a magyar tudományos akadémiák földtudományi osztályai 1989-ben vetették fel a határmenti földtani, geofizikai eredmények összedolgozásának igényét. A geológiai egységek ugyanis nem ismerik az országhatár fogalmát, a meglévő geológiai, geofizikai térképek az országhatárokon tele voltak ellentmondásokkal. Ennek illusztrálására kiválasztottuk egyrészt a legújabb kutatási eredmények közül: a pre-tercier aljzat térképeket, amelyek mindkét országban 1987-ben jelentek meg az állami geológiai intézetek kiadásában. A két térképet egymás mellé másolva jelmagyarázatok nélkül is látható (*1. ábra*), hogy az országhatár mentén sem a képződmény-határok, sem a tektonikai vonalak, sem a medence mélysége nem egyeznek. Az ok lényegében az adathiány, a mélyfúrások és a geofizikai kutatások hiányosságai és a geológiai-geofizikai kutatási eredmények szintézisének hiánya. Másrészt teljesen hasonló eredményre jutunk, ha a nyomtatásban korábban megjelent geofizikai térképeket nézzük. A *2. ábrán* az egymás mellé másolt mágneses térképeket látjuk. Itt a közel egyenletes felmérés ellenére az alapszintek (a bázisok) összemérésének, a légi és a földi mérések egymásba való átszámításának hiánya okozza a különbségeket még egy országon belül is.

A földtani-geofizikai ismeretek ellentmondásai gondot jelentenek a tudományos szempon-
tokon túl a mindennapi élet problémáinál: a határmenti nyersanyaglelőhelyekkel, a felszíni és felszín alatti vízbázisokkal, a termálvízzel való gazdálkodással, a földtani környezetvédelemmel, a nagy létesítmények (atomerőművek, vízilépcsők) földrengésbiztonsági kérdéseivel kapcsolatban, stb.

A DANREG program 1990-ben a szlovák földtani intézet (Geologický Ústav Dionýza Štúra, GÚDŠ) és a magyar Központi Földtani Hivatal (KFH) között létrejött megállapodással vette

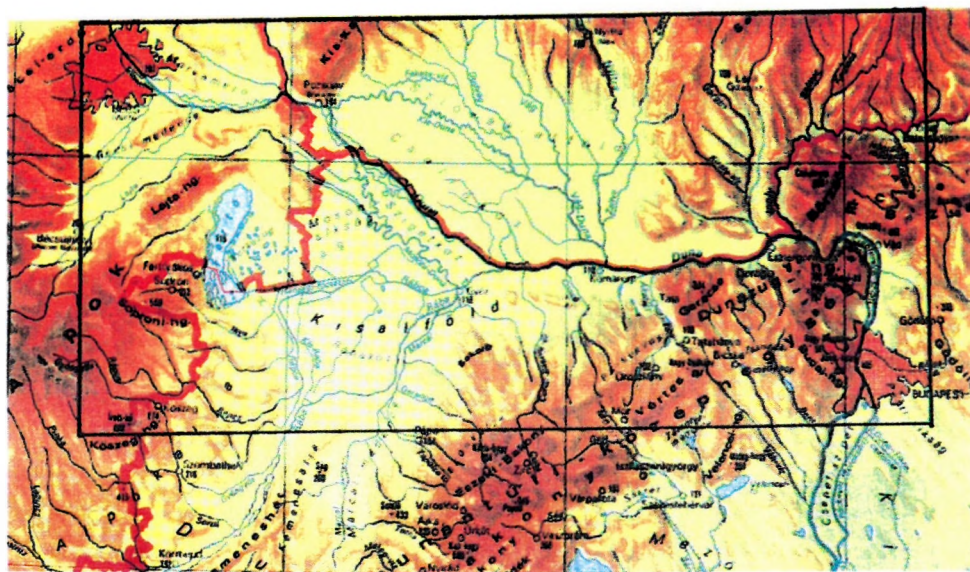
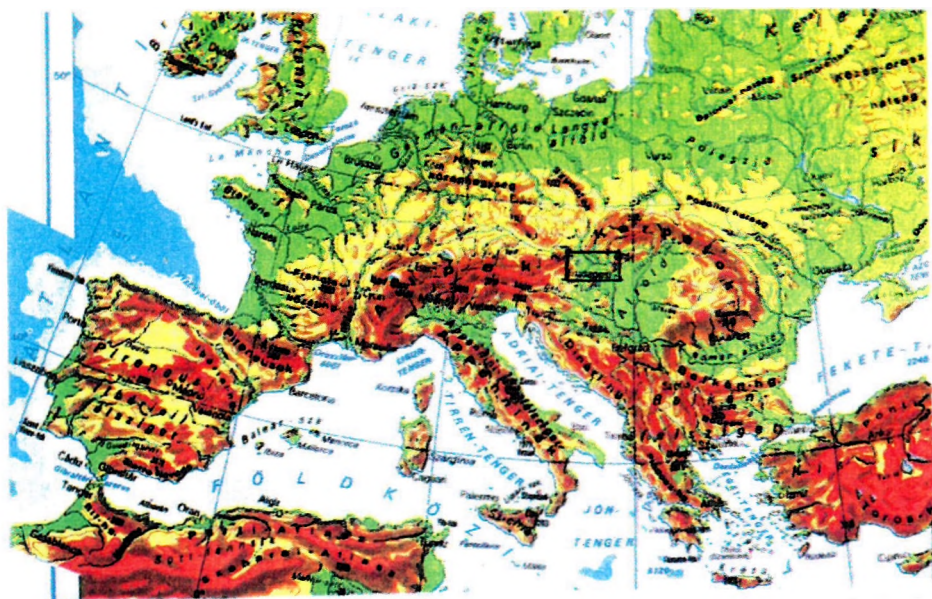


Fig. 3. Location map of the DANREG survey area
3. ábra. A DANREG kutatási terület helyszínrajza

kezdését. A munka a közös határ Ny-i szakaszán kezdődött. A programhoz még abban az évben csatlakozott mindkét ország szomszédja, Ausztria állami geológiai szolgálata, a Geologische Bundesanstalt (GBA) is. Az így három országra kiterjedő munka a 3. ábrán látható 20 000 km²-nyi területtel foglalkozik. Különböző geológiai és geofizikai munkabizottságok alakultak, amelyekbe mindhárom országból belekerültek azok a sokszor más-más intézményekhez tartozó kutatók, akik egy-egy témakörben adatokkal, ismeretanyaggal rendelkeztek. Az eredeti program szerint a geofizikusoktól egy gravitációs Bouguer-anomália, egy földmágneses és egy "geoelektromos" térképet várt a koordinációs bizottság. A geofizikai munkacsoportok az első évek adatgyűjtése, bázisok összemérése és a közös számítógépes adatbázisok létrehozása után megállapították, hogy egy sor területen adathiány van. Például a mintegy 3000 km² horizontális kiterjedésű nagy hordalékkúp, amely Európa egyik legnagyobb felszín alatti édesvíz-készletét tartalmazza, vertikálisan alig ismert (mindössze tucatnyi fúrás harántolta csak a kvarter korú képződményt). De nem volt jobb a helyzet az európai és afrikai mikrolemez elválasztó nagyszerkezeti vonalak (Rába–Hurbanovo–Diósjenő vonalak) lefutásáról és kapcsolataikról, vagy a Bécsi-medence Ny-i határvonalán futó Mur–Mürz vonal természetéről (oldaleltolódás, szubdukció?) alkotott képet illetően sem. A DANREG program keretében mindhárom országban sikerült több-kevesebb pénzt biztosítani ezen ismerethiányok geofizikai mérésekkel történő csökkentésére és így előre nem tervezhető eredmények is születtek. Ezek közül tudományos szempontból alighanem a legérdekesebb a gravitációs, földmágneses, szeizmikus, magnetotellurikus mérések integrált értelmezéséből származó kéreg–köpeny-szerkezeti új ismeret, amely szerint a Pozsony–Győr között elterülő 8 km mély neogén medence alatt kéregkivékonyodás (köpenydiapír) és valószínűleg asztenoszféra kiemelkedés is bizonyítható.

Mindezek alapján úgy érezzük, hogy ez az együttműködés sok olyan eredményt hozott, ami közlésre érdemes és az eredményektől függetlenül is rávilágít a határmenti adatok egyesítésének, közös értelmezésének fontosságára.

A munkában több mint 30 (később név szerint is felsorolt) geofizikus vett részt a három országból, akik között példás önzetlenség és együttműködési készség alakult ki, amely nélkül ezek az eredmények nem születhettek volna meg.

A kutatók ezen a helyen köszönik meg minisztériumaiknak, főhatóságaiknak, intézményeiknek, és a technikai kivitelezésben még közreműködő számos kollegájuknak segítő támogatásukat és áldozatos munkájukat.

A DANREG geofizikai kutatási programjában közreműködő kutatók

Szlovákiában Dušan OBERNAUER vezetése alatt indult a munka, Peter DŽUPPA irányításával folytatódott, majd Jozef HRICKO vezetése alatt fejeződött be a program. Valamennyien a Geofizika Bratislava, majd jogutódjának, a GEOCOMPLEX-nek igazgatóhelyettesei voltak. Ausztriában Wolfgang SEIBERL a GBA főgeofizikusa, az UNIWIEN geofizika professzora irányította a munkákat. Magyarországon NEMESI László az ELGI tudományos főmunkatársa volt a téma vezetője.

A gravitációs munkacsoport Ausztriában az ÖMV, az UNIWIEN és a Leobeni Egyetem mérési anyagát használta fel. A közös térkép előállításában B. MEURERS vett részt. Szlovákiában a Geofizika Bratislava és a Geofizika Brno mérési anyagainak felhasználásával J. ŠEFARA, T. GRAND, J. MIKUŠKA, V. SZALAIÓVÁ, M. PIOVARCI dolgozott. Magyarországon SZABÓ Z., KOVÁCSVÖLGYI S., PÁNCSICS Z., CSAPÓ G., SCHÖNVISZKY L. az ELGI mérési anyagainak felhasználásával dolgozott.

A földmágneses munkacsoport W. SEIBERL professzor irányítása alatt működött. Osztrák részről a GBA mérési anyagán G. OBERLERCHER és R. ARNDT, szlovák részről a Geofizika Bratislava mérési anyagán M. FILO és P. KUBEŠ, magyar részről az ELGI mérési anyagán KOVÁCSVÖLGYI S., SCHÖNVISZKY L. és PÁNCSICS Z. dolgozott.

A kvarter korú képződmények kutatási programjában szlovák részről a GEOCOMPLEX mérési anyagán H. TKÁČOVÁ, S. MEDO, P. HLADIK, magyar részről, az ELGI mérési anyagán DRASKOVITS P., DUDÁS J., HOBOT J., SÓRÉS L. dolgozott.

A *pannon (pliocén) fekü, a pre-tercier aljzat, a kéreg- és köpenyszerkezeti vizsgálatokban* szlovák részről a Geofyzika Bratislava, a Geofyzika Brno mérési anyagán a MAXUS cég szeizmikus újrafeldolgozásait is felhasználva J. ŠEFARA, I. HRUŠECKÝ vett részt. Magyar részről az OKGT és az ELGI mérései szolgáltatták az alapot, amelyekből a GEOS GMK és az ELGI szerkesztett térképeket. Ezekből kiindulva és az ELGI újabb mérési eredményeit felhasználva NEMESI L., SZABÓ Z., SZEIDOVITZ Zs., VARGA G., KOVÁCSVÖLGYI S., PÁNCICS Z. szerkesztett újabb térképeket. Osztrák részről W. SEIBERL és R. ARNDT vett részt a közös értelmezésben.

Az elkészült térképeket és szöveges anyagot VERŐ László lektorálta és jelentős részét angolra is ő fordította, másik lektorunk ÁDÁM Oszkár volt, akiknek a szerzők külön is köszönetet mondanak.

Gravity maps — border zone of Austria, Slovakia and Hungary

Ján ŠEFARA* and Zoltán SZABÓ**

New series of gravity maps have been constructed for the DANREG area.

After connecting the national gravity networks and establishing common databases of measurements a Bouguer anomaly map was constructed in an absolute gravity system. To calculate the normal field the WGS-80 system was used. The Adriatic sea level was taken as height datum, and a density of 2670 kg/m^3 was chosen for Bouguer and terrain corrections.

Although the Bouguer anomaly map reveals the large Neogene basins and the ridges in the basement surrounding or separating them the gravity values are not linearly proportional to the depth of the basins. To separate the effects of density inhomogeneities within the sediments and the basement from those of structural changes three different versions of filtered maps have been constructed as well as a stripped Bouguer anomaly and a lineament map. One of the most interesting anomalies having its source within the basement (anomaly at Kolárovo) was investigated by model calculations as well.

Keywords: gravity, Bouguer anomalies, stripped gravity map, density, lineament, DANREG

1. Bouguer anomaly map

One of the main topics of the DANREG project was the construction of a unified Bouguer anomaly map for the project area. Since the area forms a

* Comenius University, 84215 Bratislava, Mlynská dolina, pav. 6., Slovakia

** Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary (ELGI),
H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17-23, Hungary

part of three different countries, the first step was to review the state of the art of the respective gravity base networks and surveys.

The gravity values that are available can be regarded reliable since the early 1950s. Each country had some sort of a national Bouguer anomaly map, but as their parameters were different from each other the national maps did not match along the borders. Since the Bouguer anomalies referred to different datums and Bouguer- and terrain-corrections were calculated by means of different densities, we had to go back to the basic data and set up a common gravity data set containing the co-ordinates, elevations, observed gravity (converted to a common gravity system) and terrain correction of each gravity station.

We started by checking the national gravity base networks. At the time of the measurement of the first gravity networks it was standard procedure to link the national fundamental gravity station directly to Potsdam. In that time each national gravity network was based on one fundamental point, the possible distortions of the networks cannot be excluded. To improve the accuracy of the networks, interconnecting measurements were carried out between the gravity networks of the neighbouring countries.

These interconnecting observations between Slovakia and Hungary were carried out formerly in the framework of cooperation between the socialist countries. The gravity networks of the socialist countries were based on the corrected Potsdam gravity datum of 1971, later converted to an absolute system [CSAPÓ et al. 1995]. Different was the case with Austria: although the Austrian network was based on the IGSN-71 system, using the same corrected Potsdam value and was converted recently to an absolute system, there were no interconnecting gravity measurements between the neighbouring countries, so they had to be carried out in the framework of the DANREG project [CSAPÓ et al. 1993].

Though the interconnecting measurements between Austria and Hungary revealed a $40 \mu\text{Gal}$ discrepancy between the datums of the two national gravity networks, this difference practically did not interfere with the construction of a unified Bouguer anomaly map. Similar measurements were carried out along the Austrian-Slovakian border.

A further problem was that a significant part of the Austrian gravity data, obtained by ÖMV, was observed in a local gravity network. These data had to be converted to the Austrian national gravity system. The conversion was done by B. MEURERS.

The unification of the height systems meant no problem because the difference between the Adriatic system used by Austria and the Baltic one used by Hungary and Slovakia is a constant value:

$$H_{\text{Adriatic}} - H_{\text{Baltic}} = + 0.675 \text{ m}$$

The gravity experts of the three participating countries decided to use the following parameters for the unified Bouguer anomaly map:

Gravity system: absolute

Normal gravity: WGS-80

Height system: Adriatic

Density: 2670 kg/m^3

Contouring of the map was done by a computer program developed by ELGI. The randomly distributed anomaly data were interpolated to an 800 m grid by spline interpolation and this $800 \times 800 \text{ m}$ grid furnished the input for the contouring program. The final version of the Bouguer anomaly map is presented in a reduced scale in *Fig. 1*.

With regard to the accuracy of the Bouguer anomaly map the estimated error of $\pm 0.35 \text{ mGal}$ was determined for the Slovakian part by Molodensky's method [ŠEFARA 1978]. Since the accuracy of measurements and the determination of corrections are comparable in all three countries, the standard error of the map depends only on the density of measurements. Based on the actual station/km² point distribution the overall accuracy of the unified map is estimated to be $\pm 0.8\text{--}1.0 \text{ mGal}$. This is the limit to be taken into account in model calculations.

The station coverage of the region is far from uniform. The density and distribution of gravity stations show gross variations in the project area, thus influencing the accuracy and quality of certain parts of the map.

The Bouguer anomaly map reflects the gravity effect of all subsurface geological bodies. The anomalies are sharper and variable and have high gradients on those parts of the area where the older rocks, forming the basement, are on or near the surface, i.e. in the western and eastern parts of the region. In the central part where the basement deepens to 7000–8000 m, the anomalies are flat and have low gradients due to the masking effect of the thick sedimentary cover.

2. Aspects of gravity interpretation

The objective of the interpretation of gravity maps is to deduce the geological build-up of the subsurface from the anomalies of the gravity field. All gravity anomalies originate from horizontal density variations. If the earth were built up by layers of horizontally uniform density, there would be no gravity anomalies even if vertical variation in density exists.

Since the Bouguer anomaly map reflects the integrated effect of subsurface masses, the anomaly map is a complex image of subsurface geology; however, in special cases single sources can be identified. This means that the interpretation can never provide an unambiguous answer to a given geological problem because there is no single mathematical solution to the determination of the sources of anomalies. Generally, sharp anomalies are caused by near-surface sources and broader anomalies by deep ones.

The crucial point of gravity interpretation is to separate the effects of different sources. This is a difficult task and needs the skill of the interpreter to choose the most convenient procedure and parameters.

In order to separate different elements, many procedures are known — from manual ‘smoothing’ to the more sophisticated computer-based filtering techniques. The common aim in all procedures is to emphasize certain elements and to suppress others, depending on the target of investigation.

As a result of anomaly separation we can speak about regional, residual and derivative maps. But the designation of ‘regional’ is also subjective, referring to broad anomalies with sources normally deeper than the target of prospecting. To differentiate between residual and derivative maps is also complicated, but important because the residual maps reflect the gravity effect of local sources relatively near to the surface and the derivative maps reflect the gradient of the gravity field. Residual anomaly maps reflect the gravity effect of near-surface bodies, whereas derivative maps enhance the zones of maximum gravity variations which in most cases indicate the existence of structural lines with density contrast across them.

The resolution of a gravity survey depends on the measurement spacing but decreases with increasing depth of source no matter how accurately we know the gravity field.

Filtering techniques are very sensitive to the size of the applied filter. With the combination of the matrix elements and the size of the filter, many map variations can be produced. The proper designation of the resulting maps, however, depends very much on the skill of the interpreter not to

mention the target of prospecting: 'residual' in the case of ore prospecting means something completely different than in the case of oil exploration.

According to PINTÉR and STOMFAI [1979] a possible characterization of map variations can be based on the distribution of anomaly values. Maps with broad anomaly distribution curves can be regarded as residual ones, and those with sharp distribution curves, as derivative ones.

To interpret a gravity map, the above-mentioned characteristics and limitations have to be kept in mind otherwise we can reach wrong conclusions by interpreting a residual map as a derivative one or vice versa. Therefore we can state that there is no single or direct solution to eliminate regional effects and isolate local anomalies. All methods have their merits and limitations but a combination of them can provide useful information on the geological sources of the different anomalies.

The practical ambiguity of the inverse gravimetric task is always smaller than the theoretical one and it depends on a variety of other information. As an example, there is the Kolárovo anomaly with an evident deep source, but because of the high gradient most probably due to sharp density contrast the anomaly is very distinct in the residual- and in the regional map as well.

Mathematical separation by convolution requires randomly distributed elementary bodies, without mutual dependence. In structural interpretation this requirement is not fulfilled because of highly different parameters [ŠEFARA 1986] tending to arrange the lithospheric masses in isostatic equilibrium, which is a natural trend of each system. As further shown in stripping (Fig. 8), such a system leads to mutual compensation of gravity effects of separate masses. In addition, the individual fields (Bouguer's) undergo coherence [ŠEFARA 1986] and the frequency content of the resulting field can be highly different from the frequency fields of the individual geologically defined inhomogeneities (see also Fig. 9 in NEMESI et al. [this volume]). In no case and by no convolution method can we separate the field into negative and positive anomalies, which in our case means separation into the gravity effect of sediments and that of the basement. The task of separation can be solved either by stripping, or by model calculations controlled by a priori information.

3. Filtered maps

Within the framework of the DANREG project, we have prepared several versions of regional, residual and derivative-like maps in order to separate the different components of the gravity field. All calculations were based on the original Bouguer anomaly values obtained as a result of the unification of the gravity data of the three interested countries. The randomly distributed data were gridded in an 800×800 m data set and these created the input for further transformations.

The calculations were based on the two-dimensional filtering technique and matrices defined by MESKÓ [1984a]. The weight functions of the applied filters are presented in Fig. 2. It can be seen that the κ parameter characterizes the sharpness of the filter, with increasing κ the weight of the local value

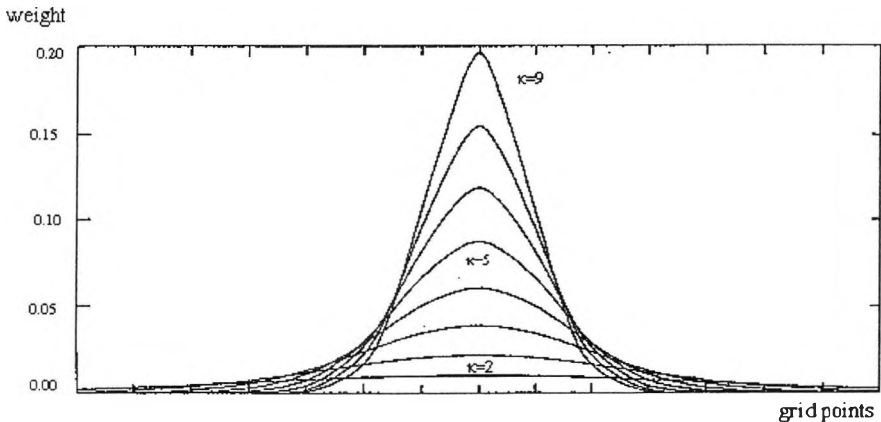


Fig. 2. Weight functions for the MESKÓ-filters

2. ábra. A MESKÓ-szűrők súlyfüggvényei

increases and vice versa. In other words, higher κ values mean higher amplification of local effects. From the transformed map versions we have presented one residual map (Fig. 3) with its corresponding regional pair (Fig. 4), and one derivative-like gravity map (Fig. 5). This third version is called derivative-like because it is only an approximation of a true mathematical representation. The gravity field is too complex to be described by an analytical expression. The derivative-like characteristics of the obtained map largely depend on the type of function being approximated, the region

involved in the calculations, the spacing of the gridded values and the complexity of the gravity field.

In the filtering procedure the parameters $\kappa=2_{\text{res}}$ and $\kappa=2_{\text{reg}}$ were applied to the presented residual and regional maps, respectively. The residual gravity map has the following characteristics: the local maxima and minima are indications of shallow geologic bodies, such as possible lateral density variations in the sedimentary complex, magmatic intrusions, or sharper undulations of the relief of the basement. While maxima and minima directly mark out the locations of the sources, their amplitudes depend on the applied procedure and on the complexity of the gravity field.

The regional anomaly map reflects the effects of all those sources not involved in the residual anomaly map (Fig. 4).

The presented derivative-like map was calculated by a narrow band-pass filter ($\kappa=9-8$, Fig. 5). The reason for applying a band-pass filter was to exclude the high frequency noise of the gravity data attributed to observational and reduction errors which are always present.

In order to determine the characteristics of the maps, the anomaly values of each map variation were subjected to the test proposed by PINTÉR and STOMFAI [1979]. To demonstrate their characteristics, we present the anomaly distribution curves of the two maps (Figs. 6 and 7). It can be seen in the

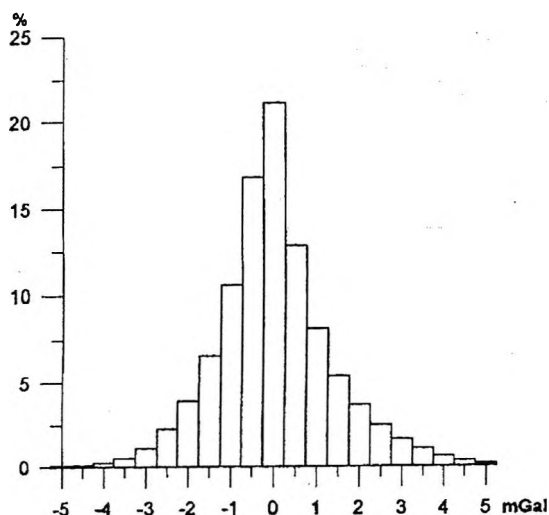


Fig. 6. Distribution curve for the map constructed with filter parameter $\kappa=2$ (it suggests 'residual' character)

6. ábra. Maradék-jelleget sugalló eloszlási görbe a $\kappa=2_{\text{res}}$ szűrővel készített térképre

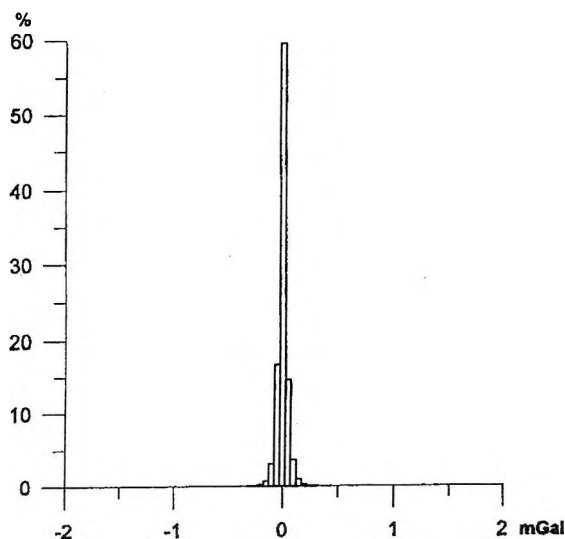


Fig. 7. Distribution curve for the map constructed with filter parameter $\kappa=9-8$
(it suggests 'derivative' character)

7. ábra. Derivált jelleget sugalló eloszlási görbe a $\kappa=9-8$ szűrővel készített térképre

figures that the map prepared with parameter $\kappa=2_{\text{res}}$ has a broad distribution curve suggesting a residual nature. The $\kappa=9-8$ map has a narrow distribution curve characteristic of derivative-like maps.

From derivative-like maps the effect of deep structures has been eliminated; however, shallow density variations may be indications of deep structural lines. In the case of derivative-like maps the zero contour lines deserve attention because they reflect the edges of the disturbing geological masses.

4. Stripped gravity map

Since in basin areas the density of the sedimentary layers is normally lower than the density of the underlying consolidated rocks forming the basement, in the Bouguer anomalies the effect of the basement topography dominates thereby masking the effects of intrabasement density anomalies. To get information from deeper sources, the effect of the sedimentary 'mass defect' has to be taken into consideration. Having information on the

topography of the basement and on subsurface density data we can produce a gravity map free of the effect of unconsolidated sedimentary layers.

As the central part of the DANREG project area coincides with the Danube-Rába basin where the thickness of sedimentary cover reaches 7000–8000 m, it seemed worthwhile to construct a gravity map corrected for sediment effect, thus enhancing the anomalies originating from deeper sources.

Before the beginning of the DANREG project, stripped gravity maps were prepared both for the Hungarian [MESKÓ 1984b] and for the Slovakian [ŠEFARA et al. 1987] part of the project area. In Hungary, MESKÓ based his calculations on the basement contour map of FÜLÖP, DANK [1987]. The density data were derived from the literature. An attempt was made to find a correlation between velocity and density data obtained from boreholes, but the result was not convincing. The gravity data were derived from a regional Bouguer anomaly map based on relatively few data. MESKÓ regarded the constructed map as a first attempt due to the incomplete data set available to him at that time.

In Slovakia, ŠEFARA and his team prepared a stripped gravity map [ŠEFARA et al. 1987]. The basic presumption was uniform density distribution of Tertiary sediments, i.e. $\sigma = F(x, y, z)$, subdivided into two functions $\sigma = f(h) + f_1(x, y)$. The first function is the dominant one in basins, the second gets significance in neovolcanic areas.

In the Danube-Rába- and Vienna basins functions $f(h)$ were determined according to density measurements on borehole samples (of 36 and 12 boreholes, respectively). Models in the form of polygonal prisms along basement contour lines were chosen (their gravity effects were calculated in the network of 1×1 km) (*Table I*).

height above sea level	density contrast (1000 kg/m ³)	
	Danube-Rába basin	Vienna basin
+150 — 0	-0.69	-0.69
0 — -100	-0.67	-0.67
-100 — -250	-0.65	-0.62
-250 — -500	-0.63	-0.52
-500 — -1000	-0.53	-0.47
-1000 — -1500	-0.45	-0.39
-1500 — -2000	-0.35	-0.33
-2000 — -2500	-0.24	-0.27
-2500 — -3000	-0.17	-0.19
-3000 — -3500	-0.10	-0.09
-4000 —	-0.05	-0.04

Table I. Density contrast given by ŠEFARA [ŠEFARA et al. 1987]

I. táblázat. ŠEFARA által közölt sűrűségkülömbiségek [ŠEFARA et al. 1987]

The maximum depth in which observations of density were carried out was ca 3200 m in the Danube-Rába basin, ca 4200 m in the Vienna basin. For greater depths the density model was extrapolated. Former models of the basement relief were the results of the chosen input criteria (maximum possible depth of the source, inevitable smoothness of shapes of the stripped map). In the final form [KILÉNYI et al. 1991] the maximum depth of the Danube-Rába basin on the Slovakian side has dramatically changed: from 5600 m — according to seismic cross sections of low information content [FUSÁN 1987] — to depths of 7000–8000 m. Reprocessing of seismic profiles later confirmed this calculation. Corrections of the stripped map as to the lateral changes of density (functions $f_1(x,y)$) were calculated only in the northern part of the Danube-Rába basin where the basin fill is partly built up by sediments of older age producing higher compaction.

Accuracy of this part of the stripped map was assessed by standard deviation as ± 1.8 mGal. Later revision of the map within the frame of the DANREG project pointed to higher relative accuracy.

A stripped map was calculated [BIELIK 1991] using a similar technique in a net of 10×10 km and on the basis of less detailed Bouguer anomalies according to the model in the table. The accuracy of the map was not characterized; we assume it is considerably lower than that of other parts.

For preparing a stripped gravity map for the project area the following data were at our disposal:

a) The contour map of basement topography was prepared within the framework of the DANREG project by updating a formerly published map [KILÉNYI et al. 1991]. That map provided the geometry of the sedimentary complex.

b) In the absence of boreholes penetrating the deepest parts of the basin no direct density data were available for those parts of the area. The density function we have used was based on several thousands of laboratory measured density data [SZABÓ, PÁNCICS 1994]. The measured drill cores originated from different parts of the Pannonian basin so the result can be regarded as an average density function approximating the sedimentary complex of the area.

In *Table II* below we present — besides the density contrast function used for our calculations — two more functions suggested by other authors [BIELIK 1991, BUCHA et al. 1994] for the same area.

depth (km)	density contrast (1000 kg/m ³)		
	DANREG	BUCHA et al.	BIELIK
0.0 — 0.5	-0.70	-0.57	-0.70
0.5 — 1.0	-0.50	-0.47	-0.55
1.0 — 1.5	-0.40	-0.42	-0.44
1.5 — 2.0	-0.30	-0.37	-0.44
2.0 — 3.0	-0.20	-0.22	-0.31
3.0 — 4.0	-0.15	-0.12	-0.17
>4.0	-0.10	-0.05	-0.10

Table II. Density contrast recommended for the project area by different authors

II. táblázat. Különböző szerzők által a területre javasolt sűrűségkülönbségek

The calculation of the gravity effect of the sedimentary complex was carried out in two steps:

- 1) To calculate the effect of the uppermost 4 km, a table was prepared containing the gravity effect of a 2×2 km sedimentary block for each 100 m depth interval and for each 2 km distance beginning from the center of the block to 20 km distance. The effect of blocks beyond 20 km from the actual grid point was neglected. The calculation was carried out by the MAGIX program (INTERPEX Co). The total effect was determined by summing, point by point, the data of the table corresponding to the actual geometry.
- 2) In the depth interval below 4 km the 2×2 km sedimentary blocks were substituted by vertical mass-lines and their gravity effects were calculated.

The effects for the two depth intervals were added to the Bouguer anomaly at each 2×2 km grid point.

The anomaly values obtained after the correction are free from the effect of mass defect due to the lower density of the sedimentary complex. Since the correction is based on the basement contour map and an average density function, the resultant map reflects their limitations. The total error, resulting from the errors of the density function, from approximating the basin fill by prisms and from taking into account only the 20 km neighbourhood of each point, can be estimated as not more than 10 mGals. This 10 mGal should be considered as the absolute error (i.e. a 10 mGal shift of the anomaly range), the relative error does not exceed 2 mGals. The biggest discrepancies between model and reality exist at the foot of the various surrounding hills (Sopron Hills, Transdanubian Central Range, etc.)

The most conspicuous feature of the stripped gravity anomaly map (Fig. 8) is the maximum range in the axis of the Danube-Rába basin, with values generally above 40 mGal, which turns eastward at the Kolárovo maximum. The source of this anomaly range is bordered on the south and south-east by the Rába-Hurbanovo line detected by both seismic and magnetotelluric data. Coinciding with the gravity anomalies, geomagnetic anomalies can be found as well.

It can be supposed that these anomalies of different physical phenomena can be attributed to a common source, namely to an elevation of the Mohorovičić discontinuity bounded by the Rába-Hurbanovo line. The northern and western borders of this elevation are unknown, the presumption of a continuous deepening or a deep fault seems to be plausible too.

The elevation of the Mohorovičić discontinuity cannot be detected by seismic data, partly because that part of section K-1 registered and processed till 12 s, stops just at the anomalous range and, partly, because at its easternmost part the Mohorovičić discontinuity reflections disappear, indicating a change in the deep structure.

The elevation of the Mohorovičić discontinuity under a deep basin cannot be regarded as a unique phenomenon, one can find several similar examples in the literature. Within the Pannonian Basin, in the Békés Basin, deep seismic sections of the last few years have revealed such an elevation involving even the asthenosphere. The respective gravity and geomagnetic anomalies are similar to those of the Danube-Rába basin.

A 10 mGal relative anomaly shows up against the maximum range of the corrected map at Kolárovo. It can be supposed that its source is in the basement. This area has an outstanding tectonic importance, as the SW-NE trend of the anomaly zone changes to a W-E trend at Kolárovo. The tectonic interpretation of this phenomenon has not yet been finally construed.

5. Gravity lineament map

Description of the procedure

This technique is designed for estimating the location of density contrasts using gridded Bouguer anomaly data. To obtain the regional geological features and to remove small and insignificant local effects of the gravity field, the primary grid of Bouguer anomalies was smoothed by a 9-point Hanning filter.

The smoothed grid of Bouguer anomalies was used as an input for calculating the magnitude and direction of the horizontal gradients using the gravity differences between grid points in the X and Y directions. The g_x - and g_y -components of the gradients were calculated by linear regression, applied to the smoothed Bouguer anomaly values in grid intersections. Differences were calculated for every grid intersection with reference to the central grid point. Linear regression was applied to all gravity differences within a radius of $R=4.5$ km to determine the g_x - and g_y -components of the horizontal gradient. Having obtained the gradient components from the linear regression, the magnitude and the direction of the gradient were calculated and stored.

The gravity lineaments were determined according to the method described by BLAKELY and SIMPSON [1986]. The values of horizontal gradient magnitude were compared with its eight nearest neighbours in four directions (along the row, column and both diagonals), to see if a maximum is present. This comparison test was applied to every direction if the gradient value of the central grid point was greater than that of its two neighbours. If this happened, a counter N was increased by 1. Counter N ranges from 0 to 4 and provides a measure of the quality of the maximum. The authors referred to parameter N as 'significance level' of the maximum. In the final step of the procedure, a small line, perpendicular to the direction of the horizontal gradient was drawn representing the gravity lineament at all grid points where parameter N was greater than 0.

Description of the lineament map

The above-described procedure was applied to the original Bouguer anomaly map without any modification. That is why the lineament map (Fig. 9) reflects all geological structures irrespective of their age and depth.

BLAKELY and SIMPSON's method approximates the edges of causative bodies as can be seen, for example, in the case of the Kolárovo anomaly. On the map (Fig. 9), besides the isometric shapes, at certain places linear patterns prevail, characterizing the tectonic elements of the region.

Based on the pattern of the lineaments, the area can be divided into four districts.

1. The central part is characterized by long and continuous lineaments — parallel with the Rába-Hurbanovo line — with subordinate, short transverse directions.
2. The area of the Transdanubian Central Range (the SE part of the map) can be characterized by a pattern of short and discontinuous lines of dominantly N-S direction, whereas in the eastern part it changes to the dominance of NW-SE directions.
3. The lineaments have a different character in the NW part of the map: in the Bruck-Stupava direction the Mur-Mürz line — the main, south-eastern tectonic line of the Vienna basin — is reflected, while in the Bratislava-Pezinok line the main tectonic directions of the Little Carpathians can be recognized. To the east of this latter, the N-S directions become dominant.

4. The Sopron–Bruck area (that of the Leitha Hills) is characterized again by short, discontinuous lineaments, such as that of the Transdanubian Central Range, reflecting the minor shallow structures.

Analysis of the lineament map is a useful tool for the tectonic interpretation of the region, especially in the deep basin areas.

6. The Kolárovo anomaly

From the point of view of interpretation, the Kolárovo maximum is a very characteristic and regular anomaly. Its position is closely related to the Rába–Hurbanovo line so the determination of its possible source can contribute to the understanding of the origin and nature of that tectonic element. The anomaly had already been interpreted by several authors [e.g. SITÁROVÁ et al. 1994] but because of its key position it seemed worth carrying out some new simple model calculations in order to get rid of possible preconceptions.

Since the gravity anomaly of a given geological structure depends directly on its dimensions and its density contrast, and an anomaly can be caused by an infinite number of possible geological structures we have to take certain limits concerning the size and density of the causative body to decrease the number of possible solutions. As for the dimensions of the source we accepted as its upper limit the depth of the basement from the map prepared in the framework of the present project. For the lower limit of the models we took the depth of the Mohorovičić discontinuity on the basis of the 'Contour Map of the Mohorovičić Discontinuity beneath Central Europe' published by ELGI [POSGAY et al. 1991]. For density contrast we took 350 kg/m^3 as a generally accepted value for the crust–mantle contact.

The calculations were carried out by 2.5-dimensional modelling. From the numerous possible solutions two models regarded as the most plausible are presented in *Figs. 10* and *11*:

- a) In the first model, the source was approximated by a batholith-type intrusion of the upper mantle material into the crust (*Fig. 10*).

- b) The second version is a combination of the thinning of the crust and a laccolith-type intrusion of the upper mantle material into the basement (*Fig. 11*).

Taking into account the dimensions of the two models, the laccolith-type solution seems to be more realistic. The problem, however, is open to

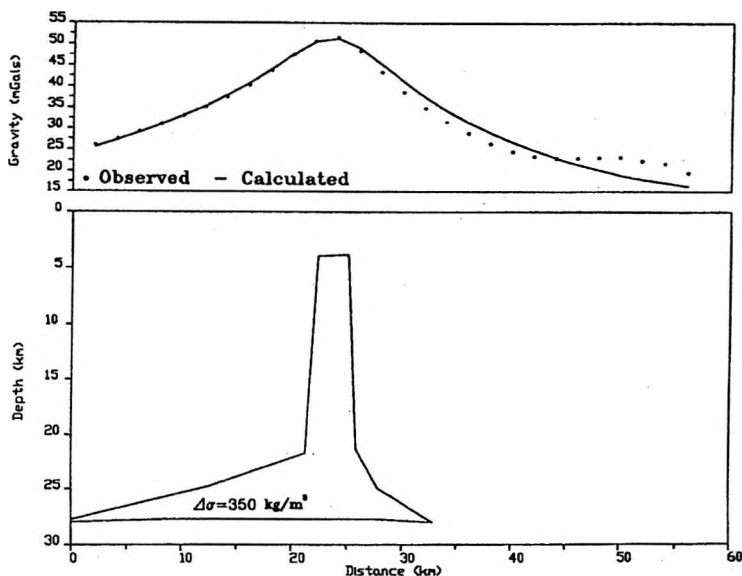


Fig. 10. Possible gravity model of the Kolárovo body (batholith)

10. ábra. A kolárovoi ható lehetséges batolitos gravitációs modellje

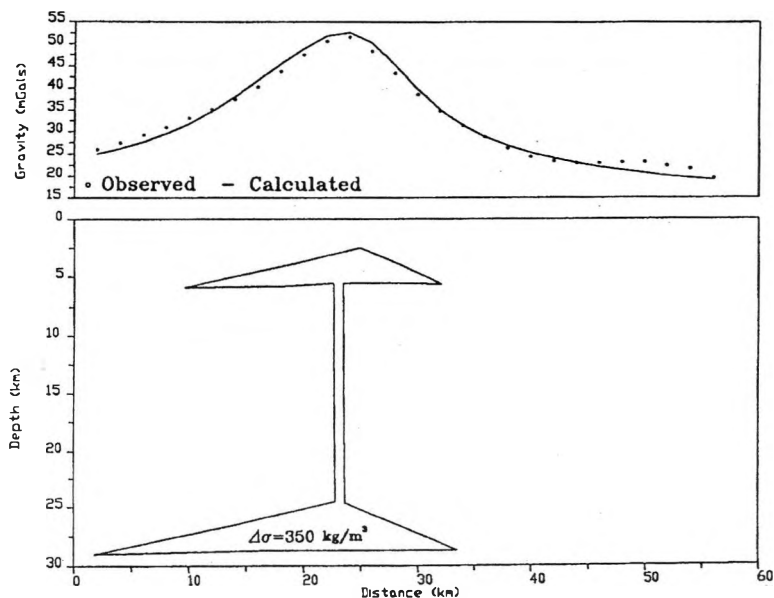


Fig. 11. Possible gravity model of the Kolárovo body (laccolith)

11. ábra. A kolárovoi ható lehetséges lakkolitos gravitációs modellje

discussion in connection with the origin and nature of the Rába–Hurbanovo line.

It has to be emphasized that the solutions can be regarded only as approximations. Their reliability depends not only on the inherent ambiguity of gravity interpretation but on the reliability of the sediment-corrected gravity anomaly map, as well.

7. Summarized geological interpretation of the gravity maps

In the foregoing we restricted ourselves mainly to presenting the procedure and the method of preparation of the various gravity maps and we mentioned only their main features.

By way of a summary, it can be concluded that the anomaly patterns of the Bouguer anomaly map characterize quite well with their smooth forms the deep basin areas and with their more varying forms those parts where the pre-Tertiary rocks are on or near the surface. In the contact zones of basement highs and deep basins the closely spaced, elongated isolines indicate fault lines such as the Mur–Mürz and Hurbanovo–Diósjenő lines.

We would call attention to two significant features of the Bouguer anomaly map: the first is that the Vienna basin in spite of its shallower nature is characterized by higher negative anomalies than the deeper Danube–Rába basin. The second main feature of the map is that the Kolárovo gravity maximum lies in the intersection of the Rába and Hurbanovo–Diósjenő lines. It is our conviction that the Kolárovo anomaly plays a key role in the understanding of the geological structure and history of the region.

These characteristics inspired us to prepare different versions of gravity maps to emphasize local, regional and directional features of the original Bouguer anomaly map.

It is clear, however, that gravity itself with its inherent ambiguity does not give clear-cut answers to our geological problems but due to the dense gravity survey over the whole region, gravity data represent a continuous information system.

By integrating the gravity data with the results of other geophysical methods (geomagnetic, geoelectric, seismic) and with the geological information available for the area, our knowledge of the geological build-up from the surface to the Mohorovičić discontinuity will increase.

REFERENCES

- BIELIK M. 1991: Density inhomogeneities of the Earth's crust of the Intra-Carpathian region. *Contrib. Geophys. Inst. Slov. Acad. Sci.* **21**, pp. 79–92
- BLAKELY R. J., SIMPSON R.W. 1986: Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies. *Geophysics* **512**, 7, pp. 1494–1498
- BUCHA V., BLÍŽKOVSKÝ M., BURDA M., KRS M., SUK M., ŠEFARA J. et al. 1994: Crustal structure of the Bohemian Massif and the West Carpathians. Praha — Heidelberg, 355 p.
- CSAPÓ G., MEURERS B., RUESS D., SZATMÁRI G. 1993: Interconnecting gravity measurements between the Austrian and the Hungarian Network. *Geophysical Transactions* **38**, 4, pp. 251–259
- CSAPÓ G., SZATMÁRI G., KLOBUŠIAK M., KOVÁČIK I., OLEJNÍK S., TRÄGER L. 1995: Unified gravity network of the Czech Republic, Slovakia and Hungary. *Gravity and Geoid. International Association of Geodesy Symposia* **113**, pp. 72–81
- FUSÁN O. 1987: Basement of the Tertiary of the Inner West Carpathians (in Slovak), Bratislava, 123 p
- FÜLÖP J., DANK V. (eds.) 1987: Geological map of Hungary without the Kainosoic. MÁFI Budapest
- HRUŠECKÝ I., PERESZLÉNYI M., HÓK J., ŠEFARA J., VASS D. 1993: Geological structure of the Danube basin in the light of new and reinterpreted old geophysical data. (in Slovak) *In: RAKÚS M. and VOZÁR J. (eds.): Geodynamic model and deep structure of Western Carpathians.* Bratislava, pp. 291–296
- KILÉNYI É., KRÖLL A., OBERNAUER D., ŠEFARA J., STEINHAUSER P., SZABÓ Z., WESSELY G. 1991: Pre-Tertiary basement contour map of the Carpathian Basin beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary. *Geophysical Transactions* **36**, 1–2, pp. 15–36
- MESKÓ A. 1984a: Digital filtering: Applications in geophysical exploration for oil. Akadémiai Kiadó, Budapest, 636 p
- MESKÓ A. 1984b: Regional Bouguer gravity maps of Hungary. *Acta. Geodaet. Geophys. et Mont.* **18**, 1–2, pp. 187–200
- NEMESI L., HOBOT J., KOVÁCSVÖLGYI S., MILÁNKOVICH A., PÁPA A., STOMFAI R., VARGA G. 1994: Investigation of the basin basement and crust structure beneath the Kisalföld. *Geophysical Transactions* **39**, 2–3, pp. 193–223
- PINTÉR A., STOMFAI R. 1979: Gravitational model calculations. *Geophysical Transactions* **25**, 1, pp. 5–31
- POSGAY K., ALBU I., MAYEROVÁ M., NAKLÁDALOVÁ Z., IBRMAJER J., BLÍŽKOVSKÝ M., ARIC K., GUTDEUTCH R. 1991: Contour map of the Mohorovičić discontinuity beneath Central Europe. *Geophysical Transactions* **36**, 1–2, pp. 7–13
- ŠEFARA J. 1986: Various aspects of lithospheric density interfaces modelling. *Sbor. geol. ved – Užitá geofyzika* **21**, pp. 9–28

- ŠEFARA J. (ed.) 1987: Structural and tectonic map of the inner West Carpathian aimed for purposes of mineral deposits — geophysical interpretations. Explanation to map series (in Slovak). Bratislava, 267 p
- SITÁROVÁ A. et al. 1994: Interpretation of the Kolárovo gravity anomaly by the option method. *Acta Geologica Universitatis Komenianae* **50**, pp. 37–43
- SZABÓ Z., PÁNCICS Z. 1994: Physical parameters of rocks in the Pannonian Basin (in Hungarian). Unpublished Report, ELGI, Budapest

Gavitációs térképek — Ausztria, Szlovákia és Magyarország közös határterületein

Ján ŠEFARA és SZABÓ Zoltán

1. A Bouguer-anomália térkép

A geofizikai program egyik fő feladata a Bouguer-anomália térkép megszerkesztése volt. A három ország szakembereiből álló gravitációs munkacsoport először felmérte a kutatások helyzetét. Úgy döntöttek, hogy az 1950-es évek elejétől végzett graviméter mérések tekinthetők megbízhatónak és ezekből mindhárom országban készültek is Bouguer-anomália térképek. Ezek azonban az országhatárokon nem voltak illeszthetők, mert a Bouguer- és terephatás-korrekciókat más sűrűséggel számították, más-más gravitációs rendszereket, más normálértéket (Helmert, Cassinis), más magassági rendszert (balti és adriait) használtak, és a nemzeti bázishálózatok csak Szlovákia és Magyarország között voltak összekötve.

A munka egy közös adatbázis létrehozásával kezdődött. Megállapodtak abban, hogy:

- „abszolút” gravitációs rendszerben fognak dolgozni,
- a normálértéknek az Európában már széles körben alkalmazott WGS-80-at fogadják el,
- az adriai magassági rendszert használják,
- a Bouguer- és a topografikus-korrekció számításához 2670 kg/m^3 sűrűséget választanak,
- valamint összemérik a szlovák-osztrák és az osztrák-magyar bázishálót.

A rendezetlen eloszlású és változó állomássűrűségű adatokból számolt anomália adatokból spline interpolációval 800×800 m-es hálózatot hoztak létre, majd az eredetileg 1:200 000 méretarányú szintvonalas térképet az ELGI-ben kifejlesztett számítógépes programmal szerkesztették meg. (1. ábra). A térkép hibáját Molodensky eljárásával ŠEFARA vizsgálta. Úgy találta, hogy az $\pm 0,8 - 1,0$ mGal-ra becsülhető, de pontosságát a mérési sűrűség jelentősen befolyásolja.

2. A gravitációs értelmezés szempontjai

A Bouguer-anomália térkép a felszín alatti tömegek integrált hatását mutatja, a geológiai értelmezés kritikus feladata azonban a különböző mélységű, kiterjedésű testek hatásainak szétválasztása. Ennek elterjedt módszere a szűrés. A klasszikus értelmezés szerint a Bouguer-anomália térkép a nagysűrűségű aljzat topográfiájával mutat hasonlóságot, a regionális (felülvágó szűrés eredményeként született) anomália térkép a mélybeli, a maradékanomália térképek (az alulvágó szűrés eredményeként) a felszínközeli hatókat, a derivált térképek pedig a gravitációs tér horizontális gradienseit emelik ki. A szűrési eljárások azonban nagyon érzékenyek az állo-

mássűrűség mellett az alkalmazott szűrő paraméterére is. A mátrixelemek és a szűrőméret kombinálásával sokféle térképváltozat készíthető, amelyek megválasztása jelentősen függ az értelmező geofizikus tapasztalataitól.

3. A szűrt térképek

A szűrt térképek számítása a MESKÓ [1984a] által definiált kétdimenziós szűrési eljárason és mátrixokon alapult. Az alkalmazott szűrők súlyfüggvényeit a 2. ábra mutatja. A κ paraméter a szűrők szélességét jellemzi. Minél nagyobb ez az érték, annál jobban kiemeli a kis, helyi anomáliákat. A szűrt térképváltozatok közül a 3. ábra egy maradék-anomália térkép, a 4. ábra ennek regionális párja, az 5. ábra a derivált jellegű térkép. Ez utóbbit egy keskeny sáváteresztő szűrővel kaptuk ($\kappa=9-8$), hogy a gravitációs adatok mérési hibáit (nagyfrekvenciás zaját) is kiszűrjük.

A térképek jellegének meghatározására minden térképváltozatot alávetettük a PINTÉR és STOMFAI [1979] által javasolt vizsgálatnak. Ennek értelmében a $\kappa=2$ paraméterrel készített térkép eloszlási görbéje (6. ábra) széles, azaz maradék jellegre utal. A 7. ábrán látható $\kappa=9-8$ térkép eloszlási görbéje keskeny, ami a derivált jelleg bizonyítéka.

4. Az üledékhatással korrigált gravitációs térkép

Több geofizikai módszer eredményeire épülő komplex értelmezési törekvéseink meg kívánták, hogy a pre-tercier aljzat belső inhomogenitásait is vizsgáljuk. Ennek egyik gravitációs módja, hogy a 7–8 km vastagságot is elérő neogén korú üledék okozta tömeghiányt kompenzáljuk. Kutatási területünk különböző részeiről már 1984-ben MESKÓ és 1987-ben ŠEFARA is szerkesztett ilyen térképet, azonban mindkét ilyen megoldás csak az akkor létező ismeretekre (például aljzat-mélység térképre és sűrűség-adatokra) épülhetett. Az azóta eltelt idő alatt a neogén medence aljzatáról a szeizmikus újrafeldolgozások és újabb geofizikai mérések kapcsán a korábbiaknál megbízhatóbb (a későbbiekben e kiadványban is bemutatott) térképet szerkeszthettünk. A mélység (vastagság) adatokat ebből vettük. A sűrűségekre egy mélységintervallumoktól függő váltózó értéksort vettünk fel. Táblázatunk létrehozásához felhasználtuk a mélyfúrásokban (magokból és geofizikai mérésekből) meghatározott sűrűség adatokat, amelyek a Pozsony–Győr közötti „Duna-Rába” medencében maximum 3200 m-es mélységből, a Bécsi-medencében maximum 4200 m-es mélységből származtak. Ez utóbbi adatrendszert láthatjuk az I. táblázatban, ahol az aljzat-sűrűséghez viszonyított relatív értékek láthatók. Az itt bemutatott „üledékhatástól megtisztított” térképünk (8. ábra) szerkesztéséhez azonban a II. táblázatban látható, kerekített értékekkel számoltunk, amelyhez még felhasználtuk SZABÓ és PÁNCICS [1994] több ezer fűrőmagon végzett és karotázs mérésekre alapozott sűrűség vizsgálati eredményét, amelyek a Pannon-medence különböző részeiről származnak. (Ebben a táblázatban közöljük még BUCHA, BLIŽKOVSKY és BIELEK hasonló mélységintervallumokra publikált adatait is.)

Az üledékes összlet gravitációs hatásának számítása két lépésben történt.

- A felső 4 km hatásának számításánál 2×2 km-es horizontális kiterjedésű, 100 m vastag blokkokat választottunk. Ezeknek a blokkoknak a gravitációs hatását kiszámoltuk mind a kérdéses felszíni pontunk alatti hasábokra, mind a maximum 20 km-es felszíni távolságra található hasábokra és ezeket összegeztük.
- A 4 km-nél mélyebb 2×2 km-es üledékes blokkokat függőleges vonalszerű tömegekkel helyettesítettük és ezek gravitációs hatását számítottuk.

A két mélység-intervallum hatásait hozzáadtuk a Bouguer-anomáliákhoz minden 2 km-es rácshálózati pontjában.

A számítások az INTERPEX Co. MAGIX programjával történtek.

A 8. ábrán látható korrigált térkép legszembetűnőbb vonása a Duna-Rába síkság tengelyében kifli alakban hajló 40 mGal feletti anomália, amelynek lefutása és elhelyezkedése a mágneses térképpel, D-DK-i pereme a Rába-Hurbanovo vonal lefutásával mutat sok hasonlóságot. Mint erre a későbbiekben még visszatérünk, ez az anomália kéreg kivékonyodással, köpeny-kiemelkedéssel magyarázható.

5. A gravitációs lineamens térkép szerkesztése és értelmezése

Bármelyik gravitációs térképünkön láthatunk olyan párhuzamos izovonal-kötegeket, amelyek ismert törésvonalaknál tűnnek fel. Ezeknek a jelenségeknek a korrekt matematikai kiemelését láthatjuk a lineamens térképen, vagy más néven a sűrűséghatárok térképén. (9. ábra).

A térképet R. J. BLAKELY és R.W. SIMPSON [1986] módszerével szerkesztettük, a GEO-COMPLEX-ben, illetve a Bratislavai Egyetem Geofizikai Tanszékén. A térkép úgy készült, hogy kiszámítottuk a Bouguer-anomália térkép minden egyes rácspontjában az É-D és K-Ny irányú deriváltakat, amelyek alapján egy 4,5 km sugarú körön belül lineáris regresszió számításával a vízszintes gradiens nagyságát és irányát meghatároztuk. A gradiens nagyságát összehasonlítottuk a nyolc szomszédos ponthoz (É-D, K-Ny irányban, valamint ezek szögfelezőiben) tartozó értékkel és megnéztük, hogy a központi rácspont értéke nagyobb-e, mint szomszédai. Ha igen, akkor a 0 és 4 között változó úgynevezett N paraméter értékét növeltük 1-gyel. Végül kijelöltük az összes olyan rácspontot, ahol N értéke 0-nál nagyobb volt. Ezeken a pontokon a gradiens irányára merőlegesen egy rövid vonalkát helyeztünk el.

A lineamens térkép anomáliáit vizsgálva a 20 000 km²-nyi területet négy nagyobb körzetre oszthatjuk.

1.) A terület középső részén, nagyjából az üledékhatástól megtisztított térkép nagy anomáliájának területén az említett anomália csapásában, a Rába-vonallal és a Hurbanovo-vonallal párhuzamosan a hosszú és folytonos sűrűséghatárok jellemzők.

2.) A Dunántúli-középhegységben (a térkép DK-i részén) a rövid és nem folytonos határok jellemzőek. A Budapest-Esztergom vonaltól Ny-ra az É-D irányok, a vonaltól K-re pedig az ÉNy-DK irányok a jellemzők.

3.) Az ÉNy-i részen más a lineamensnek jellege; a Bruck-Stupava vonal a Bécsi-medence nagy törésvonalának, a Mur-Mürz vonalnak irányát követi, a Pozsony-Pezinok vonalban viszont a Kis Kárpátok uralkodó tektonikai irányai ismerhetők fel. Ettől K-re viszont az É-D irány a jellemző.

4.) A Sopron-Bruck térség a Lajta-hegység körzetében a kismélységű aljzat apró szerkezeteit sejteti.

6. A kolárovoi gravitációs anomáliáról

Bármelyik eddig tárgyalt gravitációs térképen az egyik legszembetűnőbb a Kolárovo melletti gravitációs anomália, amelynek helyzete szorosan kapcsolódik a Rába-vonalhoz is. A ható nyilvánvalóan mélyen (a pre-tercier aljzatban) van, de minden bizonnyal éles sűrűségkontraszt választja el környezetétől. Mégis a priori ismeretek nélkül semmiféle módszerrel nem tudjuk elkülöníteni az üledékekben vagy az aljzatban lévő sűrűség inhomogenitások hatását.

Itt most feltételezzük, hogy a ható teteje legfeljebb a pre-tercier aljzat mélységében és legalább a Mohorovičić diszkontinuitás felületén van. Sűrűség-kontrasztként 350 kg/m³-t vettünk. A számításokat 2,5 dimenziós modellezéssel végeztük. A számos megoldás közül a két legvalószínűbbet a 10. és 11. ábrán láthatjuk. A 10. ábra egy olyan lehetőséget mutat, ami a köpeny anyagának a kéregbe történő behatolásával magyarázható. A 11. ábra egy kéregkivékonyodásnak és egy lakkolit-szerű benyomulásnak felel meg.

7. A gravitációs térképek földtani értelmezésének összefoglalása

A DANREG programban eredetileg elképzelt egyetlen gravitációs (Bouguer-anomália) térkép gravitációs maximumai és minimumai alapján véve, a klasszikus értelmezésnek megfelelően, kvalitatíve jelzik a 20 000 km²-es terület harmadkori medencealjzatának mélységviszonyait és bizonyos szerkezeti elemeit is. Mégis feltűnő, hogy a mélyfúrásokból és kvantitatív geofizikai módszerekből megismert Bécsi-medence aljzatmélysége kisebb, mint a Duna-Rába medencéé, holott a Bouguer-értékeik alapján ennek fordítva kellene lennie. A térkép egyik legszembeötlőbb (kolárovoi) anomáliája a Rába- és a Hurbanovo–Diósjenő vonal kereszteződésénél fekszik, de hatóját nem lehet egyértelműen meghatározni. Ezért többféle gravitációs térkép készült a lokális, a regionális és irány szerinti jellegzetességek kiemelésére. A sűrű gravitációs mérés folytonos információ rendszert alkot, de értelmezésük csak egyéb geofizikai és földtani adatok bevonásával lehetséges. Így viszont a Mohorovičić diszkontinuitásig kaphatunk képet a földtani felépítésről.

Magnetic anomalies in the area of the DANREG project

Wolfgang SEIBERL^{*}, Sándor KOVÁCSVÖLGYI^{**}, Ján ŠEFARA^{***},
Zoltán SZABÓ^{**}

Printed versions of the magnetic anomaly maps for the territories of Austria, Hungary and Slovakia were published between 1955 and 1987. The major difficulty in constructing the unified DANREG map at the Geophysical Department of the Vienna University, however, was not caused by the changes in instrumentation but by the necessity of using airborne ΔT values measured at different altitudes and ground ΔZ values. For constructing the unified map the ΔZ values had to be converted to ΔT anomalies by means of the inclinations. The distortions caused by the different national normal fields were eliminated by the application of a common normal field.

The most characteristic magnetic anomaly, a 100 km long maximum range which traverses the Gabčíkovo basin as well, can be found in the middle of the map; its location and shape show a remarkable similarity to the stripped gravity map presented in an other paper of this volume and to the Rába–Hurbanovo line. The source of this anomaly should be looked for in the pre-Tertiary basement.

The smaller anomalies (in the E part of the map) are associated with Miocene andesites; some other small anomalies that can be seen in the national maps disappeared due to the transformation and the large contour interval.

Keywords: magnetic anomalies, geological interpretation, DANREG

* Geologische Bundesanstalt, A-1031 Wien, Rasumofskygasse 23, Austria

** Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary (ELGI),
H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17-23, Hungary

***Comenius University, 84215 Bratislava, Mlynská dolina, pav. 6, Slovakia

1. Introduction

In the framework of the DANREG project it was decided to combine the already existing magnetic data of the three participating countries. In Austria data from an aeromagnetic survey [GUTDEUTSCH, SEIBERL 1987] were available, whereas in Hungary a ΔZ map constructed from the data of a regional ground survey [HAÁZ, KOMÁROMI 1966] existed; the observation data were digitized in the framework of the DANREG project. The Slovak part of the DANREG project area was covered by ground [BÜRGL, KUNZ 1955] as well as airborne measurements. The data sets were handed over to the team of Austrian geophysicists that supervised the magnetic project. The data set of the map shown in *Fig. 1* came into being at the Geophysics Department of Vienna University; the map was printed out in ELGI to ensure the unified format of the DANREG geophysical maps.

2. Theoretical basis for the construction of the unified map

Several obstacles needed to be faced when constructing the unified map. The first and most important of these was that in some areas only ΔT values observed at different altitudes were available, and in other areas there were only ground ΔZ values. In addition, in calculating the anomalies different reference fields, i. e. normal corrections were used in the three countries, the existing maps referred to different epochs, etc. Under such conditions no correct solution could be achieved. The unified map could only be constructed by means of approximations and by neglecting certain factors.

It was decided that the unified map would be a ΔT map (but a ΔZ map has also been constructed). In Hungary only ΔZ anomaly values were available, therefore these had to be transformed into ΔT data. The following relation exists between the components of a magnetic anomaly:

$$\Delta T = \sqrt{(\Delta H^2 + \Delta Z^2)} \quad (1)$$

where ΔH is the horizontal component of the anomaly.

The horizontal component can be expressed using the inclination (I) and the vertical component:

$$\Delta H = \Delta Z(\tan I)^{-1} \quad (2)$$

where I is the inclination of the total vector of the Earth's magnetic field.

Such transformation of the ΔZ component into ΔT assumes the existence of induced magnetization only (without any remanence).

Because the inclination values are not available at each station an approximation had to be used. Thus, the I values were determined for each station using the following normal equation:

$$I = 61^{\circ} 39.46' + 0.97448\Delta\varphi + 0.04731\Delta\lambda - 0.0004938\Delta\varphi^2 + 0.0000252\Delta\varphi\Delta\lambda - 0.00003186\Delta\lambda^2 \quad (3)$$

where $\Delta\varphi = \varphi - 45^{\circ} 30'$ and $\Delta\lambda = \lambda - 16^{\circ} 00'$.

The above normal equation was based on 300 Hungarian stations and determined by ACZÉL and STOMFAI [1968].

After having transformed the ΔZ data into ΔT data determination of the unified ΔT anomaly system was the next step. To eliminate the distortion along the borders caused by the different normal fields used in the participating countries the equation determined in ELGI for the territories of Austria, Hungary and Slovakia [SZABÓ 1985] was used as common normal field. In determination of the normal field for Hungary and Slovakia data of the magnetic base network measurements referring to the epoch of 1980.0 were used. Because in Austria only the data referring to the epoch of 1960.0 were available, the time variation between 1960 and 1980 had to be taken as a correction. Determination of the time correction was carried out using a quadratic function calculated from the time series of the magnetic observations in the nearby countries (Niemegk, Wien-Koblenz, Fürstenfeldbruck, Hurbanovo, Nagycenk, Surlari, Grocka, L'Aquila). Coefficients of the quadratic function most closely approximating the field were determined by means of adjustment from Slovak, Hungarian and corrected Austrian data.

To unify the ΔT data set established by the Austrian colleagues in the framework of the DANREG project the difference between the common normal field mentioned above and the normal fields applied originally by the individual countries was calculated for each station in all the three countries. The common data set was corrected using the obtained differences; thus the distortions caused by the deviations between the originally applied reference fields were eliminated. Using the unified data set the ΔT map was constructed in ELGI by means of the contouring program developed by A. SÁRHIDAI (Fig. 1).

To check the reliability of the above transformation some profiles were measured in 1991 which traversed characteristic anomalies in all the three countries.

3. Description of the map

If we look at Fig. 1 the immediate impression is that the magnetic pattern within the Carpathians differs considerably from that outside the mountains. The reason for this is not the fact that the measurements in Hungary and on a significant part of the Slovak territory were carried out about twenty years earlier than in Austria. Even so, it is, of course, true that the accuracy of the measurements performed in Austria in 1987 is by nearly two orders of magnitude higher than, for example, that of the earlier measurements in Hungary. The real reason is that the Vienna Basin is not so abundant in magnetic anomalies as the region within the Carpathians.

Some details of the data acquisition and interpretation might be mentioned. In the eastern part of Austria the airborne magnetic measurements were carried out with a proton magnetometer (accuracy ± 0.125 nT) mounted on a fixed-wing aircraft. The line separation was 2 km, the flight altitude 800 m above sea level. Thus the clearance above the ground surface varied between about 600 and 750 m in the Vienna Basin. To improve the data quality tielines were flown perpendicularly to the lines at every 10 km. The sampling rate of the magnetometer was 1 s (~ 50 m sampling interval along the line). Flight path recovery was made by means of 35 mm films. The daily variation of the magnetic field was measured at local base stations; their data were later tied to the main magnetic observatory in Austria (Wien-Koblenz). The epoch 1977.7 was used in processing.

The magnetic anomaly pattern in Austria can be characterized by relatively low amplitudes. In the NW part of the map shown in Fig. 1 traces of the SE portion of a very wide regional anomaly can be recognized. This latter is caused by a deep-seated body (10–20 km below the surface); in the strike direction it starts from S of Munich, then through Salzburg it runs along the N part of the Kalkalpen (Calcareous Alps). It joins via Vienna the complex magnetic anomalies around Brno (Moravian anomaly). The tectonic setting of this anomaly belt is still a controversial issue. This magnetic structure is most likely caused by an old basement (Proto-Europe?) which has been conserved between the consolidated Hercynian Bohemian Massif

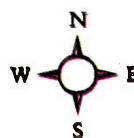
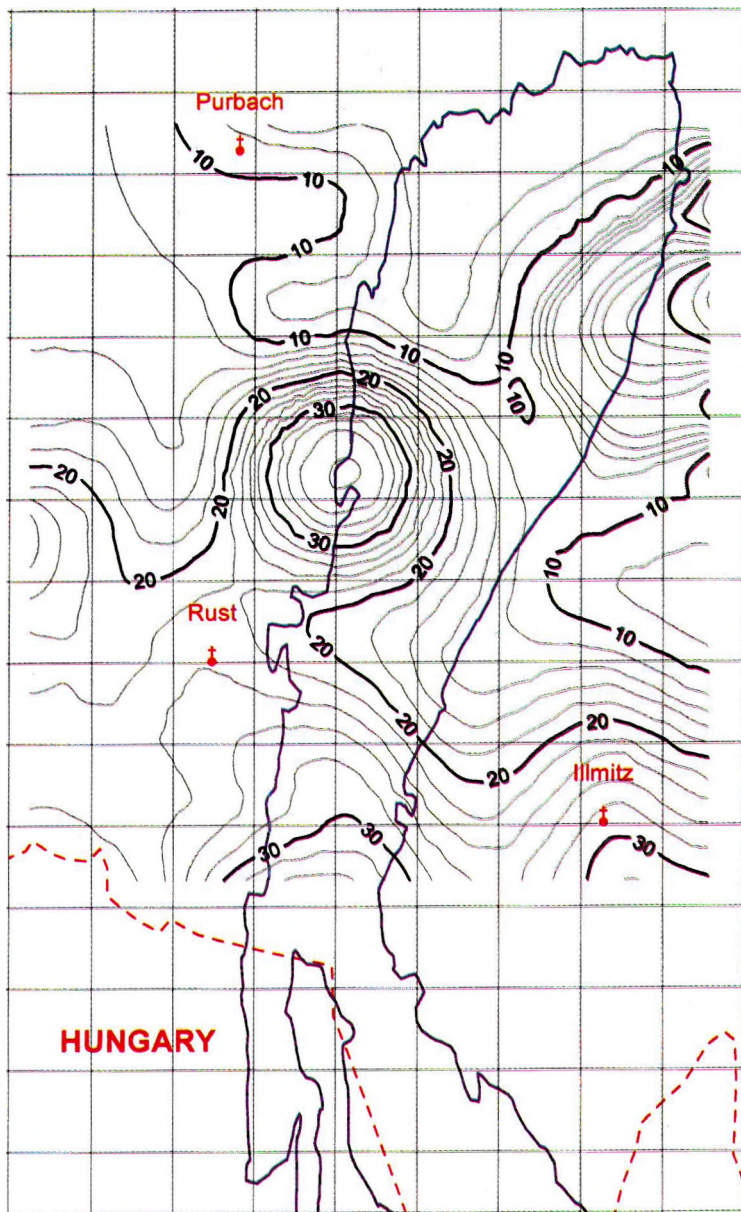


Fig. 2. Magnetic anomaly near Rust

2. ábra. A ruszti mágneses anomália

and the Alpine–Carpathian zone. Younger geological sources — remnants of a North Penninic oceanic crust — have also been considered for the western part of this anomaly [GNOJEK, HEINZ 1993].

There are no magnetic rocks on the surface that could cause the small magnetic anomalies W of Eisenstadt. They might be connected to the young Tertiary volcanic activity that can be observed along the whole eastern edge of the East-Alpine units.

An interesting magnetic anomaly can be found 6 km NE of Rust, right on the W side of Neusiedlersee. The lateral extension of this anomaly is approximately 6×5 km and its amplitude is 24 nT (*Fig. 2*). Using a Werner modelling algorithm a source depth somewhat greater than 2 km can be obtained [HEINZ et al. 1987]. If we consider an average flight altitude of 700 m then the magnetic body lies at a depth of 1.5 km. It is likely that this anomaly is also evidence for the above mentioned Tertiary volcanism because sulphuric mineral water can be observed at the nearby town of Rust.

The most significant magnetic anomaly belt in the area of the DANREG project with a more than 100 km strike length lies mainly on Hungarian and Slovak territory. Only some marginal parts of this belt can be observed in Austria, E of Neusiedlersee and S of the town of Hainburg.

Considering its extension the most significant anomaly in the area is that positive anomaly arc which starts S of Mosonmagyaróvár, its strike direction is NE; it turns N of Dunajská Streda and via Surány, Dubník and Kamenin, with a dominant strike of E–SE it terminates at the mouth of the river Ipoly. Taking into account geological and other geophysical data this anomaly is part of a multiple arc structure. The Leitha Mountains and the Carpathian chains form the outermost arc. The next arc is the magnetic anomaly discussed here whose maximum zone coincides with the NW and N edges of the assumed source of the stripped gravity anomaly. The next arc is the stripped gravity anomaly itself; the innermost arc is the SE–S edge of the stripped gravity anomaly, which coincides with the Rába–Hurbanovo line detected by numerous geophysical methods. All these phenomena suggest that the tectonic events associated with the formation of the Leitha Mountains and the Carpathians have affected the area of the arcs as well and determined fundamentally the present geology.

The spatial coincidence with the outer edge of the stripped gravity anomaly arc is so close that the magnetic anomaly follows the small bulge that can be seen N of Dunajská Streda and also the 15–20 km southward shift

of the northern edge of the stripped gravity anomaly E of the Hurbanovo–Nové Zámky line.

The spatial coincidence with the deep structural zone reflected by the stripped gravity anomaly suggests that the source of the magnetic anomaly arc is magmatic rock intruded along the deep fracture. We do not have, however, other direct information about these rocks and their spatial position. Within the basin sediments only smooth, parallel reflections can be recognized in the seismic section K–1, which was measured close and parallel to the Danube, over the Hungarian part of the Gabčíkovo anomaly — that can be considered as part of the anomaly arc. Thus, within the sediments no volcanic structure of suitable size could be assumed which would be able to cause this anomaly. Based on the seismic data the assumable shallowest source of the magnetic anomaly is the volcanic rock directly overlying the basement at a depth of about 6 km [NEMESI *et al.* 1994]. But the magnetic susceptibility of the rocks penetrated by the borehole at Surány (S–1) is not high enough (1.5×10^{-3} SI) to explain the whole anomaly.

It should be noted that the anomaly arc bypasses the Kolarovo gravity anomaly, i.e. only non-magnetic rock can be assumed as the source of the gravity anomaly.

It is possible that the source of the positive anomaly E of Kapuvár is similar to that of the anomaly arc but considering the location of this anomaly it is associated rather with the Rába–Hurbanovo line, i.e. with the inner edge of the stripped gravity anomaly arc. In the area of this anomaly Miocene volcanic rocks are known from several boreholes; however, lava plays only a very limited role among them, thus the directly known formations certainly cannot be considered as the source of the regional magnetic anomaly. It is possible that the rocks penetrated by the boreholes represent the uppermost level of a larger volcanic-subvolcanic sequence [NEMESI *et al.* 1994].

East of the regional anomaly arc, mainly in Hungarian territory two further zones of different magnetic anomaly pattern can be distinguished. Between Esztergom and Diósjenő, on both sides of the Danube (Börzsöny and Dunazug Mountains) dense alternation of positive and negative anomalies of small extent can be observed. These are caused by the Miocene volcanites making up the two mountains. The reason for the negative anomalies is the strong negative remanent magnetization of some of these volcanites — a feature verified by paleomagnetic measurements [BALLA, MÁRTON 1980].

South of Diósjenő starts an anomaly zone with a strike direction of E–NE and a width of about 5 km, it continues E of the area and having a strike

length of 100 km it terminates in Slovak territory. Because of the scale of the map it cannot be seen but this zone actually consists of two parallel positive anomalies. The anomaly zone is associated with the so called Diósjenő dislocation belt. According to the geologic interpretation the source of the southern anomaly is primarily Mesozoic greenschist of Meliata type or weakly metamorphosed basic rock, and the northern source is primarily Paleozoic basic rock of Gemeric type, metamorphosed up to the greenschist-amphibolite facies [BALLA 1989].

Finally, there are magnetic anomalies of small amplitude and extension on the original magnetic maps of the Hungarian and Slovak territories that cannot be seen on the unified map due to the relatively large contour line interval. Such small anomalies can be found at the edges of the large isometric anomaly S of Kapuvár. The source of these is the Pliocene basalt lying close to the surface; this is evidence that the crust structure has not come to rest even in recent times.

4. Some words about the magnetic modelling

The researchers' interest has been focused on the sources of the large magnetic anomaly belt within the Carpathians, on their depth, age and origin since the coming into being of the first observation results. POSGAY performed the first modelling of the anomaly at the Danube (Gabčíkovo anomaly) thirty years ago [POSGAY 1967]. His conclusion was that a source of Paleozoic age should be at a depth of 4 km. FILO and ŠEFARA obtained very similar results twenty years later. In the framework of the DANREG project ARNDT got also a depth of 4 km for the same source, using an up-to-date 3D computer modelling program. Nevertheless, as we have already described, the seismic and magnetotelluric measurements certainly preclude this depth — at least if we assume that the source of the anomaly is basic volcanic rock, as could be demonstrated in each case within the Carpathians. Based on the velocity and resistivity data of the seismic and magnetotelluric measurements performed both in Hungarian and Slovak parts of the area, on the reflection image and the 2D geoelectric model (without evidence from boreholes) we might unambiguously say that an undisturbed Lower Pannonian sedimentary sequence can be found in this depth interval. Therefore — although there are results demonstrating the possibility of enrichment of magnetite in sedimentary environment and this might cause an anomaly — we have not found an

explanation for the origin of this material. Our idea is that in all probability a superimposed effect of several sources has been encountered. In possession of all geophysical data measured in this region our view is that these sources should be located within the pre-Tertiary basement. NEMESI *et al.* [1994] succeeded in carrying out modelling in which the source was at a depth of at least 6 km, i.e. really within the basement. ŠEFARA assumes a complex body as the source of the anomaly, which consists of parts with normal and reverse magnetization or several bodies with normal magnetization but various dipplings. PAŠTEKA [1996] obtained by means of Werner deconvolution 7–7.5 km for the upper boundary of the source. In the next paper of this volume [DRASKOVITS *et al.*] we return to this problem, taking into account the results of other methods as well.

REFERENCES

- ACZÉL E., STOMFAI R. 1968: The national magnetic network of 1964–65 in Hungary. *Geophysical Transactions* **17**, 3, pp. 5–36
- BALLA Z., MÁRTON E. 1980: Magnetostratigraphy of the Börzsöny and Dunazug Mountains. *Geophysical Transactions* **26**, pp. 57–79
- BALLA Z. 1989: Reinterpretation of the Diósjenő dislocation zone. (in Hungarian) Annual Report of ELGI for 1987 pp. 45–58
- BÜRGL H., KUNZ B. 1955: Magnetische Messungen im Wiener Becken. *Geol. Jhb.*, **70**, pp. 7–41, Amt f. Bodenforschung, Hannover
- GNOJEK I., HEINZ H. 1993: Central European (Alpine–Carpathian) belt of magnetic anomalies and its geological interpretation. *Geol. Carpathica* **44**, pp. 135–142, Bratislava
- GUTDEUTSCH R., SEIBERL W. 1987: Die aeromagnetische Vermessung Österreichs. Unpublished report, Wien University, Wien
- HAÁZ I., KOMÁROMI I. 1966: Geomagnetic (ΔZ) map of Hungary. (in Hungarian) ELGI, Budapest
- HEINZ H., BIEDERMANN A., KÓHÁZY R., SEIBERL W. 1987: Auswertung aeromagnetischer Daten aus dem Bundesland Burgenland. Unpublished report, BC–2d/84. Geol. Bundesanst., Vienna
- NEMESI L., HOBOT J., KOVÁCSVÖLGYI S., MILÁNKOVICH A., PÁPA A., STOMFAI R., VARGA G. 1994: Investigation of the basin basement and crust structure beneath the Kisalföld. *Geophysical Transactions* **39**, 2–3, pp. 193–223
- PAŠTEKA R. 1996: Semi-automated interpretation methods of gravimetric and magnetometric profile values. PhD thesis, Comenius University, Bratislava
- POSGAY K. 1967: A comprehensive survey of geomagnetic masses in Hungary. (in Hungarian) *Geophysical Transactions* **16**, 4, pp. 1–118

SZABÓ Z. 1985: Coefficients of the geomagnetic normal field for the territory of Austria, Hungary and Slovakia for the epoch of 1980.0. Unpublished report, ELGI

Mágneses anomáliák a DANREG projekt területén

Wolfgang SEIBERL, KOVÁCSVÖLGYI Sándor, Ján ŠEFARA, SZABÓ Zoltán

A DANREG projekt területén az áttekintő mágneses mérések már közös munkánk megkezdése előtt léteztek, de mindhárom országról külön-külön. A szlovák részről BÜRGL és KUNZ 1955-ben, a magyar részről HAÁZ, KOMÁROMI 1966-ban, az osztrák részről GUTDEUTSCH, SEIBERL 1987-ben jelentetett meg térképet.

Az 1. ábrán látható egységes térkép a Bécsi Egyetem Geofizikai Tanszékén készült és az ELGI-ben nyomtattuk ki az egységes DANREG topográfiai alapra.

Az egységes térkép megszerkesztésének egyik feladata abból adódott, hogy az eredeti mérések egy része földi ΔZ mérés volt, más részei viszont különböző magasságokban mért, légi ΔT mérések voltak. Az átszámítás az (1) és (2) képlet segítségével közelítően megoldható, az inklináció számítása ACZÉL és STOMFAI [1968] képlete alapján történt. A különböző epochára vonatkozó normálterek egységesítése Niemeck, Wien-Koblenz, Fürstenfeldbruck, Hurbanovo, Nagycenk, Surlari, Grocka, L'Aquila obszervatóriumok idősorának felhasználásával történt [SZABÓ 1985]. Az obszervatóriumok idősorából meghatározott függvény segítségével 1980,0 epochára számítottuk át a különböző országok mágneses alaphálózatainak méréseit. Az időbeli változással korrigált alaphálózati adatokból kiegyenlítéssel határoztuk meg a földmágneses teret legjobban megközelítő másodfokú függvény együtthatóit. Hogy az országhatároknál fellépő torzulásokat elkerüljük, a Bécsi Egyetem Geofizikai Tanszékén a mért és transzformált adatokból előállított közös adatrendszert az ELGI-ben javítottuk az egységes és nemzeti normálterek különbségével. A térkép megrajzolása a közös DANREG topográfiai alapon a SÁRHIDAI-féle térképszerkesztő programmal az ELGI-ben történt (1. ábra).

A térkép anomáliáiról a következőket kell kiemelnünk.

- A legszembetűnőbb anomália a Kárpátokon belül a legmélyebb medencének megfelelő helyen található. Első látásra hasonló ívet látunk, mint a Kárpátoké, vagy a gravitációs fejezetben látható, üledékhatástól megtisztított gravitációs térkép maximum vonulata. Ezekhez egészen hasonló a projekt keretében végzett magnetotellurikus mérésekkel is alátámasztott Rába-Hurbanovo-Diósjenő szerkezeti vonal íve. A mágneses anomália hatói a szeizmikus és magnetotellurikus mérések eredményeivel összhangban, egyértelműen a harmadkori medence aljzatában, legfeljebb annak felszínén vannak. A mágneses hatók — bár nem azonosak a gravitációs hatóval — feltétlenül kapcsolatban vannak azzal, többnyire annak peremén találhatók [NEMESI et al. 1994].
- A magyarországi területen (a térkép K-i felén) található, tagolt mágneses anomáliakép, a Börzsöny és a Dunazug hegység felszíni miocén korú vulkanizmusával magyarázható. Feltűnő a Diósjenő diszlokációs öv hosszan elnyúlt pozitív anomália sora.
- Ausztria területén a térkép szinte anomáliamentes, legalábbis az alkalmazott szintvonalak között. Ha az egész Bécsi-medence sűrűbb izovonal-közű mágneses térképet néznénk, akkor tűnne fel, hogy itt egy olyan regionális mágneses anomália keleti végéhez

értünk, amely Münchentől indul és Salzburgon, Bécsen át kapcsolódik a Morva anomáliával. Ennek a Proto-Európa anomáliának a hatója 10–20 km mélységű. A Fertő-tó környékére kisebb kiterjedésű zárt anomáliák már jellemzők és valószínűleg miocén korú vulkanizmussal magyarázhatók.

- Meg kell említenünk szlovák és magyar területeken is olyan kis amplitudójú anomáliákat, amelyek az eredeti részlet-térképeken látszanak és általában fiatal, esetenként pannon korú bazalt-vulkanizmus hatásai.

A hatók mélységének meghatározására már 1966-ban is végeztek számításokat [POSGAY 1967]. Legutóbb a DANREG program keretében, osztrák részről ARNDT végzett hatószámításokat a Werner-féle, háromdimenziós modellező algoritmus felhasználásával. Az újabb eredmények nem különböznek lényegesen a régiektől, így a térkép legmarkánsabb (Gabčíkovói) anomáliájára, a korábbiakhoz hasonlóan, 4 km-es mélységet kaptak, amelyet viszont a szeizmikus és magnetotelurikus adatok nagy valószínűséggel kizárnak. A Fertő-tó Ny-i oldalán, a ruszti 24 nT értékű mágneses anomália hatómélységére 1,5 km adódott (2. ábra).

Geophysical exploration of Quaternary formations in the area of the DANREG project

Pál DRASKOVITS^{*}, Helena TKÁČOVÁ^{}, László SÓRÉS^{*}**

It was striking for the DANREG project's Geophysics Team that in the area of the Danube's thick Quaternary detrital cone (especially between Bratislava and Győr) not more than a dozen wells penetrated the detrital cone of about 3000 km² surface extension. Therefore an effort was made to fill the gaps with common Hungarian-Slovak VES and IP measurements. The results are presented as three apparent resistivity maps for different penetration depths, a thickness map of the coarse gravel sequence and a map of the thickness of the complete Quaternary sequence. An attempt was also made to carry out lithological classification on a smaller area.

The Quaternary sequence in the Vienna Basin was investigated along a single profile consisting of a few transient soundings.

Keywords: VES, transient methods, resistivity, water storage, grain size, DANREG

1. Introduction

A map of the Quaternary formations has been constructed for the whole area covered by the DANREG project. In the central Danube Basin this map is based first of all on geophysical data because only three drillings have penetrated the whole Quaternary sequence in the Hungarian part of this area and nine drillings on the Slovak side. It is for this reason that it is necessary to present and explain the geophysical maps for regions of thickest Quaternary formations separately, in addition to the Quaternary map for the whole DANREG area. These items of information have been obtained mostly by

^{*} Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary (ELGI),
H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17-23, Hungary

^{**} GEOCOMPLEX a.s., 82207 Bratislava, Geologická 21, Slovakia

vertical electrical soundings (VES). The maximum separation of current electrodes was up to 4 km. Soundings were located along profiles on the Slovak side, as opposed to a quasi-grid on the Hungarian side. This survey was performed in Hungary and Slovakia only because the large basin in question terminates at about the Austrian border. The general objective of the electrical survey was to recognize the horizontal and vertical extent of the Quaternary sequence and its approximate lithology as well. This thick Quaternary sequence is the largest and most valuable drinkwater resource in Central Europe, thus the importance of the survey needs no explanation.

Due to the lack of sufficient geological information, an additional VES survey was also performed. Field measurements at the Slovak and Hungarian sides have been processed using agreed principles and a model of the same character. Consequently, unified maps for the area of clastic sediments deposited by the Danube could be constructed. Correct selection of processing principles and steps has been proven by the fact that unification of the maps was feasible in spite of the lack of data in the border region of several kilometres' width.

From the survey results, the simplified geological structure of the Quaternary sediments for the area in question is as follows: Below a thin (up to several m) and *strongly variable overburden* the highest resistivity (the coarsest grain size) section of the Quaternary sequence, the *gravel layer*, can be found. Below this, a *sandy sequence* of lower resistivity but also of considerable porosity follows which is of Quaternary age as well. The bottom of the water-bearing sequence in the whole area consists of low resistivity, probably *Upper Pannonian fine grained formations*. Results of the common work of Slovak and Hungarian geophysicists are illustrated by several *apparent resistivity maps* compiled for different AB separations (for different penetration depths), by the thickness map of the whole Quaternary sequence and that of the gravel section. In addition to these, a simplified polarizability sketch and, as a matter of methodological interest, a lithologic sketch (practically a hydrogeological zoning) constructed from the resistivity and polarizability values — for the Hungarian side only — are presented. The partial application can be explained by the fact that for instrumental reasons the two teams were able to perform the IP measurements only by using slightly different equipment parameters.

2. Apparent resistivity maps

In a reconnaissance survey of larger areas, construction of such maps is always of practical value. These particular maps show the resistivity distribution at the depth of about one quarter of the actual current electrode (AB) distance. The main advantage of apparent resistivity maps is that on the one hand, they make it easy to recognize the structural lines, faults and other geological features which — if they exist — could result in considerable deviations from the horizontally layered model. And on the other hand, in cases when sharp layer boundaries traceable for long distances are missing, a series of apparent resistivity maps for different penetration depths gives a good qualitative image of the lateral and vertical extent of formations of different resistivities. Apparent resistivity maps have been constructed for current electrode separations $AB=200$ m, 600 m and 1000 m.

All three apparent resistivity maps (*Figs. 1 to 3*) clearly indicate coarse-grained sediments accumulated in the central part of the basin. The resistivity highs are only slightly elongated in the flow direction, their shapes are practically isometric.

If one examines the three maps together, vertical and horizontal extensions of the gravel sequence can clearly be seen. Although unambiguous numeric values cannot be given, the values above 200 Ωm approximately indicate the coarse gravel section. The largest and highest resistivity maximum can be found on the map of smallest penetration depth (about 40–50 m, $AB=200$ m) which is evident, knowing the model. Maps for larger depths indicate that the grain size decreases continuously downwards.

Each map shows that the main carrier of sediments was the main branch of the Danube. The peak values of the anomalies are located at the main branch; sedimentary sequences deposited by the Moson Danube and mostly by the Little Danube in Slovakia are of less importance. Sediments deposited by the river Lajta are insignificant.

Definite termination of resistivity anomalies (i.e. that of the sediments) to the north and west can obviously be explained by the surrounding mountains because they bound the young basin. Termination to the southeast is of a different character. The present relief does not provide any reason for it in the vicinity of the city of Győr. Thinning of clastic sediments is supported by the polarizability sketch (*Fig. 4*) as well. It is well-known that in a sedimentary environment the polarizability highs are associated with the fine sand-silt fraction located between sands and clays. This fraction probably

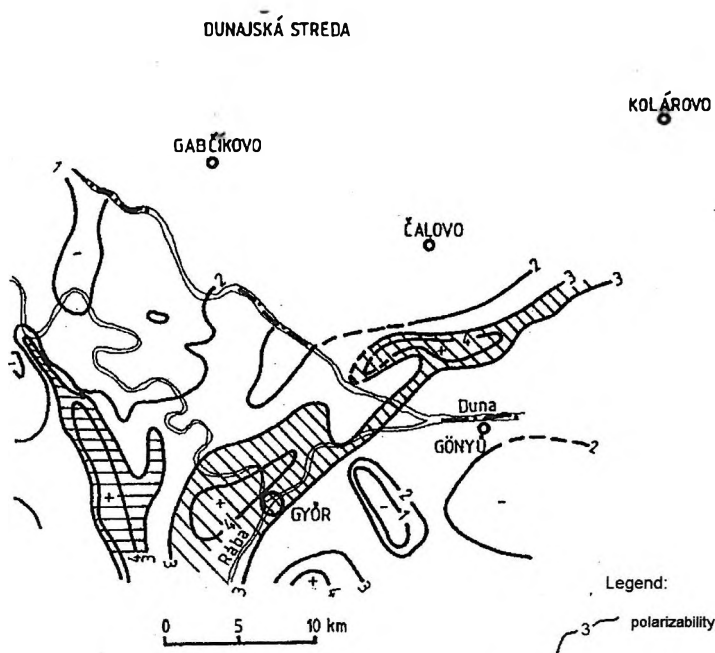


Fig. 4. Polarizability sketch
4. ábra. Polarizálhatósági vázlat

occurs at the edges of coarse grained sequences; the maps prove this expectation. In our interpretation the polarizability highs indicate the borders (fine grained edge zones) of the coarse grained sequence. It is striking that the southeastern border of the thick Quaternary sediments approximately coincides with the Rába-Hurbanovo line. Although the causal relation has not been proven yet, the fact of coincidence suggests that the tectonic lines affecting the Tertiary basement possibly renewed later and this therefore underlines the importance of neotectonic investigations.

Finally, a further interesting fact: east of the city of Győr, where the Danube turns towards the west-east direction, young sediments can hardly be found. A few kilometres north and south of the Danube nearly every anomaly disappears.

3. Thickness map of the whole Quaternary sequence and that of its coarse gravel section

Despite apparent resistivity maps being very reliable, experts using the geophysical results require maps to be interpreted more easily. Since the same geological model can be used for the whole area, the thickness map of the whole Quaternary sequence and that of its coarse gravel section were constructed. In spite of the integrating and approximating nature of geophysical methods, the importance and novelty of these maps should be underlined. Prior to the DANREG project there was only very limited geological information about the whole Quaternary sequence; in fact the paucity of information did not allow one to draw spatial conclusions. This could be done solely on the basis of geophysical results.

The lack of sharp boundaries, consequently the uncertainties about the thicknesses were overcome in the following way:

- Actual depth (thickness) values obtained from several wells, based partly on fossils, were considered as initial information. The 1-D VES inversion started from these several basic points;
- Although the 3-layer structure of the Quaternary sequence is a highly simplified version of the geological reality, the thickness values obtained in this way are more reliable and the constructed thickness maps provide qualitatively correct information.

Figure 5 shows the thickness of the coarse gravel sequence. This is the most important sequence from the viewpoint of water storage. Its greatest thickness — more than 300 m — can be found in the central part of the basin. The sequence is unambiguously associated with the main branch of the Danube. Its thickness is only about 50 m at the Little Danube. Around Bratislava and below Győr both the thickness and extension of this sequence are insignificant.

Figure 6 shows the thickness of the complete Quaternary sequence. In the central part it exceeds 600 m which is a new piece of information in relation to the earlier geological concept. At several points VES up to AB=4000 m was not enough to reach the relatively low resistivity formations: here they must lie deeper than 700 m. For the time being, though it has been proven indirectly only, — because in the central part no borehole has as yet been drilled down to 600–700 m — the 300 m thickness of the coarse grained formations and thus the correctness of the model and reality

of its numerical parameters have already been justified. In the southern-southwestern part of the map having almost circular character the effect of sediments deposited by the river Old Rába can be seen, similarly to every other map. At the southeastern edge the Quaternary sediments suddenly become rather thin, this feature can be seen on all the maps. As has already been mentioned, this change coincides with the Rába-Hurbanovo line.

If one compares all the maps it can be seen that the greatest thickness of the Quaternary sediments (the deepest part of the Quaternary basin) coincides with the resistivity highs. It means that the coarsest sediments have been deposited in the deepest (most intensively sinking) regions.

It should be noted that the whole area can generally be characterized by the lack of surface or near-surface clayey protecting overburden (or at least a layer of poor hydraulic conductivity). Thus, the valuable drinkwater reservoir shown in the previous figures is not protected against surface contamination. It is very vulnerable. This must be kept in mind when planning or carrying out any infrastructural, land use, agricultural, water production, traffic, etc. activities.

4. Hydrogeological zoning

In a sedimentary environment both resistivity and polarizability strongly depend on the average grain size of the sediments; this grain size dependence of both parameters is, however, of different character. This gives us a more realistic image if we examine both parameters simultaneously than on the basis of one parameter alone. Nomograms have been constructed where the axes of the coordinate system are the resistivity and polarizability, and the parameter of the nomogram curves is the dominant grain size (*Fig. 7*). With the help of these nomograms, apparent grain diameters were determined from the measured resistivity and polarizability values. The procedure can be performed for different separations between current electrodes (for different penetration depths), thus a series of lithological sketches were obtained. From these, the sketch for the depth interval from 0 to 200 m is presented (*Fig. 8*; from the water storage point of view, the key to the areas is: 1—best; 2—good; 3—medium; 4—poor; 5—disadvantageous).

The average grain size increases from the clay fraction to the coarse gravel as indicated from green across yellow to brown. This map indicates the coarsest formations in the central part of the young basin as well.

This sketch could be constructed for the Hungarian side only because of the different IP measurements already mentioned. Considering, however, the identical character of the resistivity maps at the two sides of the Danube and the similar behaviour of polarizability, a considerably different lithological image on the Slovak side cannot be expected.

Summarizing: The centre of the young basin — which is filled with clastic sediments from the Danube — can be found at about half way between Bratislava and Győr, at the Old Danube. Here the greatest thickness of the Quaternary sediments reaches 600–700 m, and that of the coarse gravel sequence exceeds 300 m (at the same site). Thickness isolines and resistivity anomalies are practically of circular shape. Consequently, the sedimentation process on the Slovak and Hungarian sides must have been the same or very similar. The southeastern edge of the thick Quaternary sequence coincides with the Rába–Hurbanovo line. East of Győr young sediments occur only in a zone of several kilometres width; their thickness is insignificant. In general, there is no proper protecting layer above the water-bearing formations.

5. Geophysical investigations in the Vienna basin

No financial resources were available for systematic geophysical investigations of the Quaternary formations in the Vienna basin. At the closing stage of the DANREG project, however, a magnetotelluric profile of northwest-southeast orientation was measured in the basin. Although the uppermost several hundred metres could not be investigated by magnetotellurics, this depth interval should also be known in order to be able to interpret the MT measurements. Therefore transient electromagnetic soundings were carried out along the profile (*Fig. 9*).

Twenty soundings with 4–6 km separation can by no means result in surprising new discoveries. The profile is, however, so characteristic that it is worth presenting here as well.

It is striking that the profile of the depth interval from the near-surface down to about 800 m can be divided into three parts (*Fig. 9*). In the southern part, high resistivity Quaternary clastic sediments (gravel) of the Danube practically do not occur or are only a few metres thick, thus they cannot be detected by our measurements. Below them lies a sequence of 40–80 Ωm resistivity and about 30 m thickness which is probably a continuation of the lower (sandy) section of the Quaternary formations obtained at the Slovak

and Hungarian sides of the Danube. Northwards along the profile, the situation considerably changes at the Danube. We consider the resistive sequence reaching even a thickness of 600 m to be very similar to the large alluvial fan below Bratislava. Coarse gravel of resistivity above 100 Ωm can be found near the surface. This is underlain by finer grained sandy formations with continuous transition to the Pliocene clayey sequences (decreasing resistivity, decreasing grain size downwards). At the last two points to the north, flysch formations of Upper Cretaceous and Paleocene age can be found on the surface. Consequently, the electrical image obtained from the transient measurements changes completely.

This little example suggests that geoelectric methods can play an important role in the survey of the alluvial fan of Quaternary age in several parts of the Vienna basin.

REFERENCES

- DRASKOVITS P. 1995: Historical review of the Hungarian water prospecting (in Hungarian). *Magyar Geofizika* **36**, 4, pp. 304–309
- DUDÁS J., DRASKOVITS P., HOBOT J., 1994: Methodological experience of geoelectric studies of young sediments of the Little Plain (in Hungarian). *Geophysical Transactions* **39**, 2–3, pp. 95–114
- MARQUARDT D.W. 1963: An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *J. Soc. Indust. Appl. Math.* **11**, 2, pp. 431–441
- NEMESI L., HOBOT J., VARGA G., FEJES I., PÁPA A., DUDÁS J., DRASKOVITS P., MILÁNKOVICH A. 1989: Results of the geophysical measurements carried out by ELGI in the Danube-Rába Lowland between 1982 and 1989. Oral presentation at the 34th International Geophysical Symposium, Budapest

A negyedkori összlet geofizikai kutatása a DANREG területen

DRASKOVITS Pál, Helena TKÁČOVÁ, SÓRÉS László

1. Bevezetés

Ez a kutatási tevékenység nem terjed ki a DANREG terület egészére. A maximálisan 4 km-es tápelektroda távolságokkal végzett vertikális elektromos szondázások (VESz) elsősorban a Pozsony és Győr közötti medence központi részén voltak jelentősek, ahol korábban csak alig tucatnyi fúrással harántolták a kvarter korú összletet. (A Szigetköz területén mindössze három fúrással

fúrták át a teljes kvarter összletet és a Duna szlovák oldalán sem sokkal többen). A szlovák és magyar geofizikusok egyeztetett mérési és feldolgozó programok alapján dolgoztak és így mód nyílt arra, hogy a Duna hordalékkúpjának vertikális és horizontális elterjedéséről egységes képet nyerjenek.

A hordalékkúp negyedkori összletének földtani felépítése nagy vonalakban a következő: a legfeljebb néhány méter vastag fedőképződmények alatt a rétegsor legnagyobb fajlagos ellenállású, durva-kavicsos összlete települ, majd alatta a finomabb szemcsésű homokos összlet. Ez utóbbi kettő a legfontosabb víztároló. A kvarter fekéje a finomhomokos felső pannon. Az egyes összletek között az átmenet folyamatos, éles réteghatárok nincsenek. Ez az oka annak, hogy az összlet jellemzésére látszólagos ellenállás térképeket is szerkesztettünk és ahol a GP méréseket is felhasználhattuk, ott egy kisebb területen kísérletet tettünk litológiai térképvázlat szerkesztésére is.

2. A látszólagos ellenállás térképek

Három térképet szerkesztettünk, a három tápelektroda távolsághoz ($AB=200$ m, 600 m és 1000 m) tartozó térképek (1., 2. és 3. ábra) jól tükrözik a dunai hordalékkúp vízszintes és horizontális elterjedését. Behatolási mélységnek durván az $AB/4$ értékeket tekinthetjük. A durvakavics fajlagos ellenállása $200 \Omega\text{m}$ -nél nagyobbra becsülhető. A három térképet együtt szemlélve látszik, hogy a mélység növekedésével a durvakavics elterjedése egyre kisebb és egyre nyilvánvalóbb, hogy az Ős-Duna hordalékkúpjáról van szó. Érdeemes azonban megfigyelni, hogy míg a hordalékkúp elterjedését általában a mély medence központi részével definiálhatjuk, a délkeleti elvégződés kissé meglepő: a Rába-vonal zónájával esik egybe. Ezt a határt rendkívül szemléletesen teszik a GP maximumok, amelyek a durvaszemcsés összlet elterjedésének határán lépnek fel (4. ábra). Eredményeink a neotektonikai folyamatok vizsgálatának szükségességére hívják fel a figyelmet.

3. A durva-kavicsos összlet és a teljes kvarter összlet vastagságának térképei

A geológusok, hidrogeológusok egyszerűbben értelmezhető eredményeket, például vastagság térképeket vártak a geofizikusoktól. A korábban említett vastagság bizonytalanságokat úgy enyhítettük, hogy a VESz kiértékelést néhány fúrásban ősmaradványok alapján megállapított vastagság adatokra alapoztuk.

Az 5. ábra a durvakavicsos összlet vastagság térképe. Vastagsága Lipót község térségében eléri, sőt meghaladja a 300 m-t. Egyértelműen a Duna mai főágának területéhez köthető és feltűnő, hogy a Győr alatti szakaszon sem vastagsága, sem elterjedése nem számottevő.

A 6. ábra a teljes kvarter korú összlet vastagságát mutatja. A központi részekben 700 m-nél is nagyobb értékeket találunk. Szembetűnő, hogy a Duna hordalékkúpján kívül a délnyugat felől benyúló Rába hordalékkúpna van még nagyobb jelentősége (vastagsága). A Rába-vonalnál a teljes összlet hirtelen kivékonyodása is megfigyelhető, csakúgy, mint valamennyi kvarter térképünkön.

Megfigyelhető, hogy a központi medence területén gyakorlatilag hiányzik a felszínről egy rossz vízvezető képességű, kisellenállású, agyagos fedő. Így a térképeinken ábrázolt értékes ivóvízbázis felülről védtelen.

4. Hidrogeológiai (litológiai) osztályozás

Mint ismeretes, a kőzetek fajlagos ellenállása és polarizálhatósága is függ a szemcsemérettől, de nem egyformán. A két paraméter együttes mérésével a tapasztalati úton szerzett, 7. ábránkon látható diagram segítségével a tápelektrodák által definiált kutatási mélységig meghatározhatjuk az átlagos szemcseméretet. Ilyen térképet a behatolási mélység függvényében többet is szerkesztettünk. Példaként itt a felszíntől 200 m mélységig előforduló összlet átlagos szemcseméretének

horizontális változását láthatjuk (8. *ábra*). Sajnos, csak a magyar oldalon, mert a szlovák és magyar GP műszerek által mért paraméterek nem azonosak. Erről a térképről is megállapíthatjuk, hogy a legdurvább frakció a mai Duna közelében található és attól távolodva egyre agyagosabb ez az összlet.

5. Geofizikai kutatások a Bécsi medencében

A DANREG program befejező szakaszában került sor a Bécsi-medencében egy 80 km hosszú magnetotellurikus vonal lemérésére. A 20 mérési ponton a felső (mintegy 800 méteres vastagságú) összlet tanulmányozására tranziens elektromágneses szondázásokat végeztünk. Az eredmények a 9. *ábrán* láthatók. Az *ábra* felső részén a látszólagos ellenállás szelvény, az alsó részén a geoelektromos rétegszelvény látható.

Feltűnő a szelvény északnyugati és délkeleti felének különbözősége. A Dunától északnyugatra megjelenő nagyellenállású képződményeket durvakavicsnak, homokos kavicsnak értelmezhetjük. Ez minden bizonnyal a Duna hordalékkúpjával azonosítható, mert fizikai tulajdonságai feltűnően egyeznek a Pozsony–Győr közötti hordalékkúpon mért adatokkal, noha mélyfúrási és őslénytani adatok hiányában nem állíthatjuk, hogy bármelyik réteghatárunk egyértelműen azonosítható a kvarter fekéjével. A kvarter–felsőpannon átmenet itt is folyamatos, ugrásszerű szemcseméret és más fizikai paraméterhatár nincs.

Érdekes még, hogy a szelvény északi része, a felsőkréta paleogén flis képződmények területén milyen határozottan különül el a szelvény többi részétől. A Dunától délkeletre pedig érzékelhető, hogy itt gyakorlatilag nincs kvarter, a kisellenállású agyagos összlet alatt a nagyellenállású lajtamésző és annak kristályos aljzata egyetlen geoelektromos réteg. E zónától a magyar területek felé a Kisalföld medencéjének szegélyét láthatjuk, még finomszemcsés, vastagodó kvarterével és pannon képződményeivel.

Results of deep geophysical survey within the framework of the DANREG project

László NEMESI^{*}, Ján ŠEFARA^{**}, Géza VARGA^{*}, Sándor KOVÁCSVÖLGYI^{*}

The Geophysics Team of the DANREG project has constructed the contour map of the base Pannonian for Hungarian and Slovak territories using new measurements and reprocessed earlier measurements. The contour map of the pre-Tertiary basement has been made more correct based on new seismic and telluric-magnetotelluric surveys. In magnetotellurics new results have been achieved by investigating the two major structural lines of the region: the Rába-Hurbanovo-Diósjenő and the Mur-Mürz lines.

From integrated interpretation of gravity, magnetic, magnetotelluric and seismic surveys the conclusion has been drawn that the gravity and magnetic anomalies in the 8 km deep Neogene basin lying between Bratislava and Győr having their source within the basement can be explained by thinning of the crust, and by elevation of the mantle and the asthenosphere (mantle plume).

Keywords: mantle, asthenosphere, seismics, magnetotellurics, magnetics, gravity, DANREG

1. Geophysical results concerning the thickness of the Pannonian and lithofacies issues

Formations of Pannonian age can be found primarily in the large basin between Bratislava and Komárom, and in the Vienna Basin. Reflection seismic measurements played a decisive role in the investigation of the basins; such surveys were performed everywhere, although with different line

^{*} Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary (ELGI),
H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17-23, Hungary

^{**} Comenius University, 84215 Bratislava, Mlynská dolina, pav. 6. Slovakia

density. (Unfortunately, we have not received seismic material from the Austrian territory, therefore we can discuss in detail only the Slovak and Hungarian territories.) The most important thing is to point out that the strongest reflections which can unambiguously be traced on the time sections as well were obtained from the layer underlying the Pannonian series within the basins. Thus, one of the most reliable results of geophysical investigations is the depth map to the bottom of the Pannonian sequence (*Fig. 1*).

The Slovak and Hungarian maps — although based on measurements performed at different times, with different instruments, with different line density, and though the processing methods were also different — fitted perfectly along the border, in spite of the fact that the depth to this horizon is zero at the edges of the basin (e.g. at Bratislava or Tata), but exceeds even the 5 000 m in the central basin (at Gabčíkovo).

To construct the map the seismic measurements of Geofyzika Brno were used in Slovak territory. VVNP expert HRUŠECKÝ constructed the map from the up-to-date reprocessed versions of sections [HRUŠECKÝ et al. 1993]. The seismic material in Hungarian territory comes from the measurements of the Hungarian oil industry (GKV) and partly from the measurements of ELGI. At the beginning of the DANREG project the map constructed by the GEOS group which combined the results of the two Hungarian institutions was available. This was modified in the deepest part of the basin based on the most recent measurements of ELGI performed in the framework of the Kisalföld and DANREG projects, using the results of PÁPA, HERCZEG and SZEIDOVITZ.

Determination of the thickness of the layers overlying the Pannonian is by no means unambiguous. Although the 5 000 m thick sedimentary sequence is rich in reflections neither the bottom of the Quaternary nor the boundary between the Pliocene and Pannonian (between the Lower and Upper Pannonian according to others) is a characteristic horizon for any geophysical method. This is probably due to the continuous sediment deposition. Geoelectric measurements revealed a monotonous decrease in resistivity downwards which suggests a general downward decreasing trend in the grain size. (This is also clearly demonstrated by the magnetotelluric measurements shown in *Fig. 2*). Thus, we ventured to determine the thickness of the overlays only along some profiles; these were handed over to the Geological Working Group as working material.

It is mentioned for the sake of interest that the resistivity of the complete Neogene sedimentary sequence, and particularly of the Pannonian forma-

tions, is about two times higher in one of the largest and deepest basins of the Carpathian Basin than the usual value in the other sub-basins. It is interesting to connect this with the fact that here hydrocarbon exploration did not bring outstanding results. The higher resistivity reflects either a grain size not fine enough for hydrocarbon generation or the sediments are more cemented and this is an obstacle to migration or there is no really impermeable layer which is a prerequisite of trapping after migration.

2. Geophysical results in tectonic studies

Tectonic maps are, of course, based on surface observations, aerial and satellite images, well data and results of geophysical surveys. Compilers of the DANREG tectonic maps used all these kinds of information. They examined all utilizable seismic profiles from the region, and carefully studied the fractures in the basement and the 'flower structures' within the sediments. Because no data are available in the deep basins attempts were made, for example, at drawing tectonic conclusions from the gravity data available everywhere. The filtered maps, gradient maps and the so-called lineament maps can be used for that. A dozen versions of these maps were constructed because effects caused by sources at different depths and of different lateral dimension, sometimes not by tectonic features but simply by changes, say, in rock density can be enhanced by different filters. There are, however, tectonic features which are clearly reflected already in the Bouguer anomaly map, by reduced isoline separation, e.g. the Hurbanovo-line. In Figure 9 of the chapter on gravity [ŠEFARA, SZABÓ present issue] that version of the lineament map series is shown which enhances those variations of the gravity field showing the closest correlation with different verifiable geological and geophysical data and can be interpreted as effects caused by faults and structural lines. This map should be considered as an extension of reliable information from certain areas to less reliable, less known areas.

One of the most significant results of geophysical surveys is the Rába-Hurbanovo-Diósjenő line detected by the magnetotelluric method. This result is of special interest because the geological literature has been dealing with the question of the Rába-line only since 1949 [SCHEFFER 1965]. Sometimes it was mentioned as the most significant structural line of the region, sometimes as a mistake and therefore does not exist. Different ideas were elaborated about its location if it did, indeed, exist, and there were

different ideas about its continuation on Slovak territory. The existence of the Rába-line was confirmed by the magnetotelluric measurements of the last one and half decades, its location was determined; measurements carried out in the framework of the DANREG project in the last five years demonstrated that the Rába-line continues in the Hurbanovo-line in Slovak territory, then in the so-called Diósjenő dislocation zone (Fig. 2). The magnetotelluric measurements revealed the differences primarily in the basement formations at two sides of the line. At the S, SE side of the line, where the Transdanubian Central Range can also be found, a geoelectric layer of 1–3 Ωm was detected within the basement at a depth of 4–10 km. The two areas can unambiguously be distinguished even by qualitative analysis of the sounding curves measured N and S of the line because the curves are strikingly different (Fig. 3). The low resistivity of this deep layer can be explained in different ways (lithologic, petrologic or hydrochemical origin), its presence remains a basic fact and demonstrates the boundary nature of the line within the basement. The magnetotelluric measurements keep the Rába–Hurbanovo–Diósjenő line

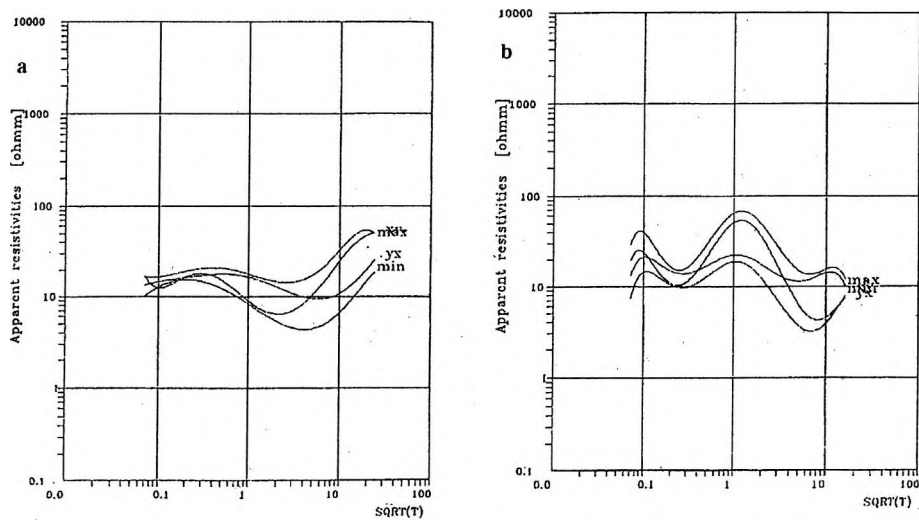


Fig. 3. Characteristic magnetotelluric sounding curves from two sides of the Rába–Hurbanovo line. a) station SDU3–7 can be found on the northern; b) station SDU3–4 on the southern side of the line

3. ábra. Jellező magnetotellurikus szondázási görbék a Rába–Hurbanovo vonal két oldaláról. a) SDU3–7 állomás az északi; b) SDU3–4 állomás a déli oldalról

within a 4–6 km zone along a length of almost 250 km. The plane of the fault cannot be determined from the measurements but this striking difference between the two sides of the line suggests a strike-slip structure rather than an overthrust.

Seismic characteristics of the Rába-line were studied by KILÉNYI et al. [1991]. They described significant differences in the reflection image of the basement, in the dip of the basement reflections, and how the reflections can be traced. On the other hand, it is interesting that so-called flower structures reflecting tectonic movements can be found on the S side of the Rába-line in the Neogene sediments while on the N side the seismic image suggests a more or less undisturbed layering.

The paleomagnetic surveys are also worth mentioning [MÁRTON 1990]. According to these the Transdanubian Central Range unit got into its present place after significant strike-slip and rotation before the Neogene period and this unit might belong to the African plate. The N side, with completely different paleomagnetic directions is part of the Indo-European plate.

Any of the theories might be true but it is certain that the geophysical measurements unambiguously detected the Rába–Hurbanovo–Diósjenő line based on different physical parameters.

Magnetotelluric investigation of the Vienna basin

Measurements financed by the Austrian GBA were carried out in the last year of the DANREG project, which joined the Hungarian section of the magnetotelluric profile K-1 and traversed the Vienna basin. The measurements provided interesting data about the depth of the basin, resistivity of the sediments and the bedrock but these meant no substantial novelty compared with the previous knowledge. It is worth mentioning, however, that approaching the Bohemian Massif the Upper Cretaceous–Paleocene flysch is much closer to the Neogene formations bearing in mind its physical parameters (similarly to the situation in the Carpathian basin) than to the Mesozoic–Paleozoic rocks of the pre-Tertiary basement. But the magnetotelluric image of the Mur–Mürz line is even more interesting. We can see not only sharp changes in the depth of the basin and physical parameters of the sediments along the magnetotelluric profile at this line (at the Danube) but a typical subduction zone was revealed as well. The conductor which appears close to the basement in the vicinity of the Danube gets deeper southeastward. We could trace this conductor for about 20 km down to a depth of several tens

of kilometres (*Figs. 2 and 4*). The phenomenon can be explained as the southeastward subsidence of the oceanic plate, the Mesozoic basement of the Vienna basin below the continental plate with crystalline basement.

We are aware of the different opinions about the type, nature and mechanism of genesis (subduction, strike-slip or combination of these) of these two significant tectonic lines, viz. the Rába–Hurbanovo–Dósjenő and Mur–Mürz lines. According to the magnetotelluric measurements the geoelectric images of these lines are completely different. Along the Rába–Hurbanovo–Dósjenő line the sediments seem to be uniform from the surface down to the bottom of the Neogene at the two sides of the line, flower structures might appear in the Neogene–Pliocene sequence only. The layers within the basement, their dip and resistivity are entirely different. Evidence of subsidence of any of the microplates, however, cannot be seen. (This suggests strike-slip.)

In addition to the deep structure suggesting typical subduction at the Mur–Mürz line it is obvious that (at the crossing of our profile and the Danube) the thickness of the Pleistocene coarse-grained gravel is several hundred metres on the left bank (based on the resistivity distribution), whereas on the right bank of the Danube this layer is either completely missing or its thickness is insignificant.

In our opinion the above facts should be taken into consideration in creating different theories independently of the idea finally accepted by the tectonics experts.

3. Investigation of the pre-Tertiary basement

The basement of the Neogene basins is one of the geophysically best detectable horizons in the Carpathian basin and in the Vienna basin after the formations underlying the Pannonian because there is a significant difference between the physical parameters of the basement and non-metamorphic young sediments. In spite of this almost every geophysical method encountered difficulties in the area of the large central Danube–Rába basin. It has been shown that gravity and magnetic anomalies are caused by sources within the basement or crust. The frequency range of telluric measurements was sometimes too high because of the unexpected great depths. Dynamite seismics struggled with drilling difficulties due to the gravel deposit of the Danube, the great depth caused lack of energy for the vibroseis method.

Finally, all methods encountered interpretation problems because no wells penetrated the basement and therefore none of the geophysical horizons could be identified as basement. This problem appeared, however, only in the regions deeper than 6 000 m. The map shown in *Fig. 5* is based primarily on the seismic measurements, in addition to well data. The basis of the depth map of *Fig. 5* is the the 'Pre-Tertiary Basement Contour Map of the Carpathian Basin beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary' constructed by KILÉNYI, ŠEFARA, SUTORA, BIELIK, KRÖLL, STEINHAUSER, WEBER, PINTÉR and SZABÓ using the results of ÖMV, Geofyzika Brno, SLOVNAFT, OKGT and ELGI, and well data [KILÉNYI et al. 1991]. Just because of the above mentioned problems of the deepest basin parts HRUŠECKÝ and ŠEFARA constructed new map parts from up-to-date reprocessing of earlier measurements; in Hungarian territory NEMESI and SZEIDOVITZ modified the existing map based on new telluric, magnetotelluric and seismic measurements (*Fig. 5*).

4. About the internal structure of the basement (crust)

Geophysical textbooks and standard geophysical knowledge explain the gravity and magnetic anomalies by thickening of the young low density basin sediments, by basement structures or buried volcanic masses; these are the most obvious explanations.

In this situation it is enough to look at the Bouguer anomaly or magnetic ΔT anomaly map and at the contour map of the pre-Tertiary basement to recognize that these standard interpretations cannot be applied here. The Bouguer minimum of the Vienna basin suggests a much larger mass deficiency than that of the large Danube-Rába basin between Bratislava and Győr, though the depth to the basement is 5 000 m in the first, and 8 000 m in the latter one. We look in vain for similar features like the intensive magnetic anomalies of the central basin in the gravity or basement contour map, there is no correlation between them. And we look in vain for the volcanites in the reflection image of the most up-to-date seismic section K-1 (*Fig. 6*), those certainly do not exist down to a depth of 8 000 m in the deepest part of the basin. These facts have led us to search for other explanations for the phenomena. Recent calculations with different geophysical methods and joint interpretation of the results found the explanation in crustal structures and phenomena probably suggesting a mantle plume.

The starting point of our studies was that there is a series of maxima in both the magnetic and stripped gravity maps that follows the curve of the Rába–Hurbanovo line; the sources of these maxima certainly lie below the surface of the pre-Tertiary basement. These sources can be found in the area marked 'II' along the deep seismic profile K-1 measured between Bratislava and Győr and shown in Fig. 6. In this section there are no reflections within the crust, the Mohorovičić discontinuity cannot be seen but before the reflections disappear there are signs suggesting an upward trend in the horizons.

Finally, it is necessary to point out that the existence of a crust–mantle anomaly in the central Danube basin is obvious; in the Vienna basin anomalies of varying intensity can be obtained depending on the density parameters and these anomalies are negligible compared to the previous ones. Thus, the existence of a mantle plume is unlikely here.

After that, gravity modelling was performed using the MAGIX program (INTERPEX Ltd.). In Figs. 7 and 8 modelling of the straightened seismic profile K-1, running between Bratislava and Győr, is shown. The difference between the two figures is that one of them represents the elevation of the lower crust and mantle with a step-like structure, while the other one with a continuous transition. The density model is based on published data, the density of the 'upper granitic crust' is 2.7 t/m^3 , the density of the 'lower basaltic crust' is 0.3 t/m^3 , that of the upper mantle is 0.5 t/m^3 higher. Results of modelling correlate closely with the seismic section. In its northern half, N of the crust–mantle structure the Mohorovičić discontinuity can clearly be seen (Fig. 6). Thus, here we have data for the thickness of the crust as well. It can also be seen on the section that in its northern part reflections were obtained from the crust, while in its other half, as far as the Rába-line where the source of the gravity anomaly is located the seismic image is free of reflections. (It is mentioned that although they cannot be seen in the figure we have numerous seismic sections which show that S of the southern edge of the source — i.e. S of the Rába-line — there are reflecting horizons again within the basement.)

This kind of gravity interpretation is supported by the seismic image and interpretation. It correlates also with the magnetotelluric results; the depth to the bottom of the Neogene is about 8 km and the depth to the gravity source is 10 km.

Sources of the magnetic anomalies should be searched for within the basement. Seismic and magnetotelluric measurements absolutely preclude the

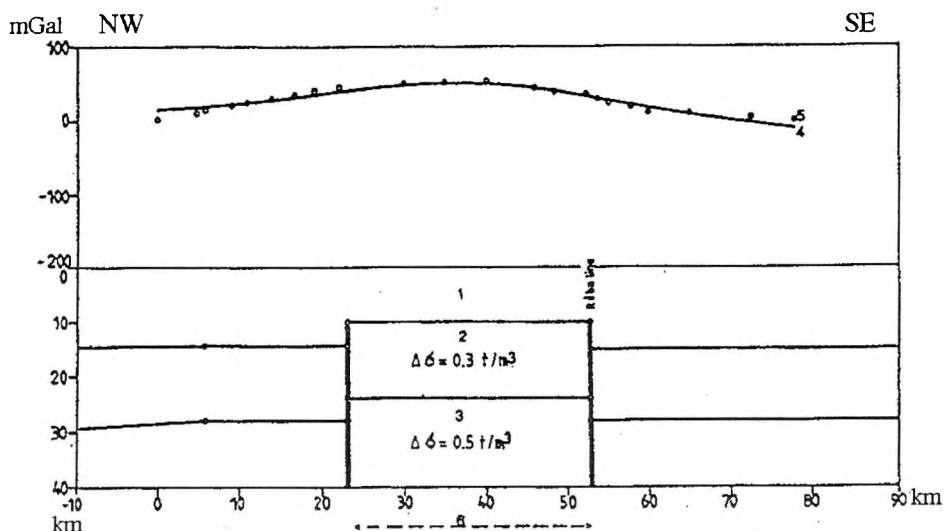


Fig. 7. Gravity model calculation along the seismic profile K-1 (for suddenly descending model). 1—granite layer of basement and crust; 2—basalt layer of crust (its density is 0.3 t/m^3 higher than that of the basement); 3—mantle (its density is 0.5 t/m^3 higher than that of the basement); 4—Bouguer anomaly without the effect of the Neogene basement; 5—calculated Bouguer effect of the crust-mantle elevation in the model

7. ábra. Gravitációs hatáásszámítás a K-1 jelű szeizmikus szelvény metszetében (hirtelen mélyülő modellre). 1—az alaphegység és a kéreg gránit rétege; 2—a kéreg bazalt rétege (amelynek sűrűsége $0,3 \text{ t/m}^3$ -rel több, mint az alaphegységé); 3—a földköpeny (amelynek sűrűsége $0,5 \text{ t/m}^3$ -rel több, mint az alaphegységé); 4—a neogén medence hatásától megtisztított Bouguer-anomália érték; 5—a kéreg köpeny kiemelkedés számított Bouguer hatása modellünkéből

possibility of sources within the sedimentary sequence. This holds true for the sources of the anomalies of larger extent and amplitude even if some wells penetrated Miocene andesite below the Pannonian sequence, e.g. close to the Rába; and smaller Pliocene basalt bodies can be found on the surface too. After that it was obvious that one should assume a common interpretation and identical sources of the gravity and magnetic anomalies. This has, however, partly failed. It can only be said that the location of the magnetic anomalies coincides with that of the gravity anomalies, but they can sometimes be found in the middle, sometimes at one of the edges of the gravity source; sometimes in the fault zone bordering the gravity source, sometimes between two fault lines (borders). If we consider the conclusions drawn from

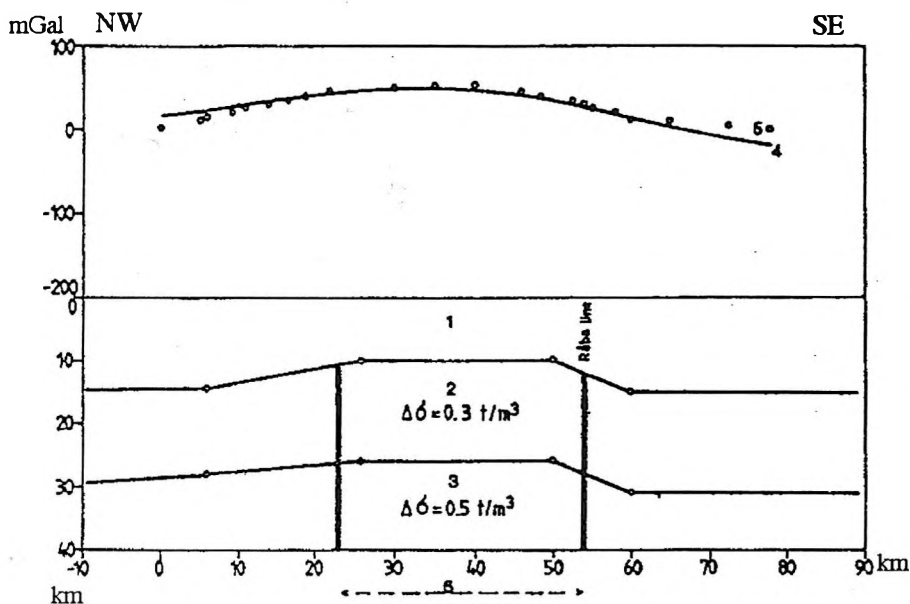


Fig. 8. Gravity model calculation along the seismic profile K-1 (for slowly descending model).

1—granite layer of basement and crust; 2—basalt layer of crust (its density is 0.3 t/m^3 higher than that of the basement); 3—mantle (its density is 0.5 t/m^3 higher than that of the basement); 4—Bouguer anomaly without the effect of the Neogene basement; 5—calculated Bouguer effect of the crust-mantle elevation in the model

8. ábra. Gravitációs hatákszámítás a K-1 jelű szeizmikus szelvény metszetében (lassan mélyülő modellre). 1—az alaphegység és a kéreg gránit rétege; 2—a kéreg bazalt rétege (amelynek sűrűsége $0,3 \text{ t/m}^3$ -rel több, mint az alaphegységé); 3—a földköpeny (amelynek sűrűsége $0,5 \text{ t/m}^3$ -rel több, mint az alaphegységé); 4—a neogén medence hatásától megtisztított Bouguer-anomália érték; 5—a kéreg köpeny kiemelkedés számított Bouguer hatása modellünkéből

the magnetic measurements alone then due to the ambiguity of the inversion the magnetic body can be placed equally within the sedimentary sequence, at the depth of the basement or even deeper, using either the oldest or the most up-to-date inversion techniques. If we take into account the depth and geothermal conditions of the basin, a Curie temperature of 578°C can be expected at depths between 10 and 25 km. As sources of the intensive anomalies bodies with a susceptibility of $3\text{--}7 \cdot 10^{-3} \text{ SI}$, with significant extension but with a density not higher than 2.7 t/m^3 can be imagined (because such bodies do not cause gravity anomalies) whose upper surface lies close to the basement. Thus, finally a magnetic interpretation can be found which is not in contradiction with other data. These magnetic bodies can be assumed as low density (2.7 t/m^3) andesitic or basaltic bodies intruding upwards (not

higher than up to the bottom of the sediments) from the melt mantle plume along the weakened zones.

One of the authors (ŠEFARA) attempted to summarize these ideas and constructed a model based on all investigations performed up to now and aimed at determining the structure of the crust and mantle beneath the Danube–Rába basin which is in harmony with each result (Fig. 9).

The results used are taken from:

IBRMAJER et al. [in BUCHA et al. 1994], HRUŠECKÝ et al. [1993] for seismics;

ČERV et al. [in BUCHA et al. 1994], VARGA et al. [1993] for magnetotellurics;

BABUSKA et al. [in BUCHA et al. 1994], HORVÁTH [1993] for seismology;

POSGAY et al. [1989], HORVÁTH [1993], ŠEFARA et al. [in press] for the Mohorovičić discontinuity

The profile has been chosen to comprise all problematic features of the stripped map, including the Gabčíkovo magnetic anomaly. The density distribution is derived from different observations, especially from velocity sections with perpendicular sections necessary to estimate the velocity anisotropy. At the surface we take into consideration direct density measurements of pre-Tertiary rocks outcrop. Density distribution of deep structures is the continuation of the PREM model applied to the given area and accepting the increase in density towards the Earth's core. Asthenospheric masses in which a decrease in density due to partial melting can be supposed are exceptions.

Features of anomalies, especially the seismic and magnetotelluric image, show updoming or uproofing in the central part of the Danube–Rába basin. The Mohorovičić discontinuity has a similar vaulted shape. Detection of very low resistivity inhomogeneity within the Mohorovičić basement [ČERV et al. [in BUCHA et al. 1994, VARGA 1992] made the model more complicated. Its character might suggest relicts of partially melted masses, most probably in the form of outlet paths of geothermal energy by convection (see the form of the Curie isotherm). Another medium of the heat outlet could be the young uncontaminated basalt as was shown in the area of the Lučenec basin [ŠEFARA et al. in press].

Other anomalies in the stripped map, especially the Kolárovo gravity anomaly, are interpreted as a high density mass outlet of lower crust origin.

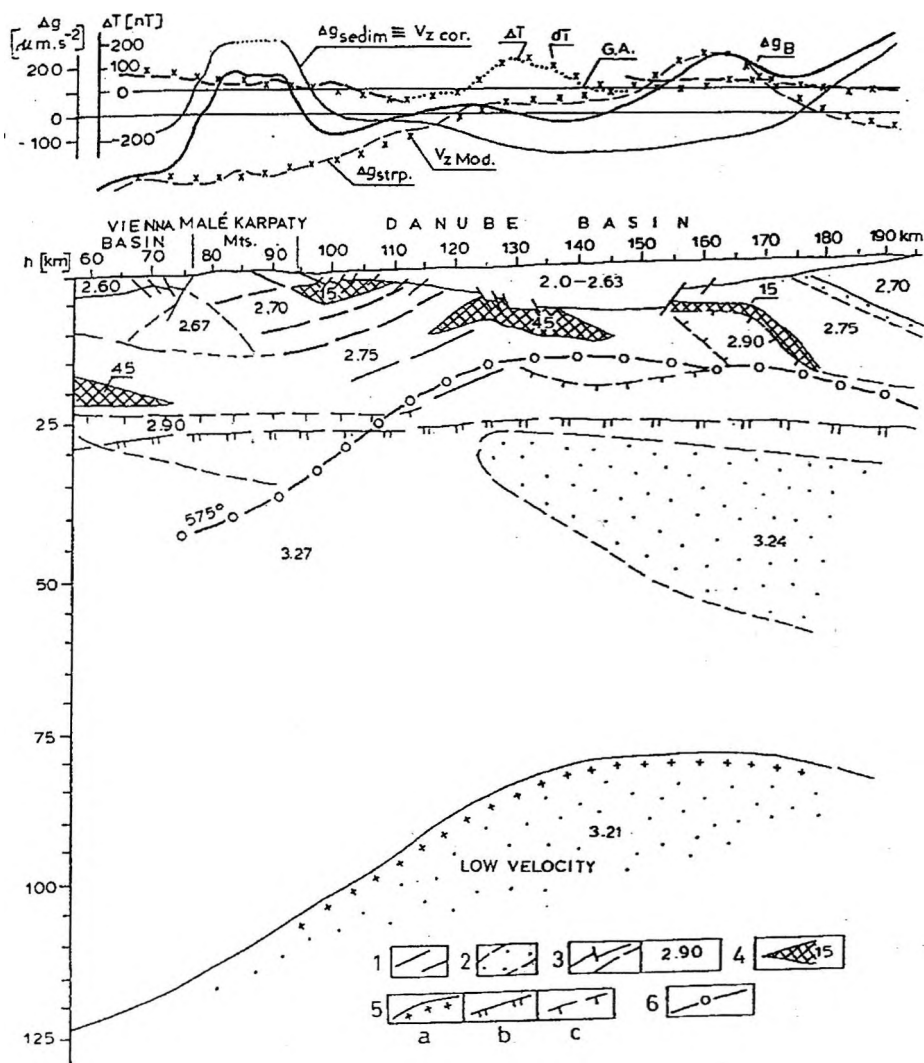


Fig. 9. Schematic integrated geophysical model of deep seated structures in the Danube-Rába basin. Explanations: $\Delta g_{\text{sedim}} = V_z \text{ cor.}$ —gravity effect of the Tertiary sedimentary layers, as a correction to the Bouguer anomaly (Δg_B), leads to the stripped gravity map ($\Delta g_{\text{strp.}}$); $V_z \text{ Mod.}$ —gravity effect of the deep seated models; ΔT —measured and dT —calculated magnetic anomaly; G.A.—Gábčíkovo anomaly incorporated into the model from the side (see Fig.3). Legend: 1—seismic results (reflection boundaries); 2—very low resistivity layers from MT; 3—density model (densities in g/cm^3); 4—magnetic model (units in 10^{-3} SI); 5—boundaries; a: lithosphere-asthenosphere; b: upper mantle-lower crust (Mohorovičić discontinuity); c: lower crust-upper crust; 6—Curie isotherm in $^{\circ}\text{C}$

A possible explanation for the Gabčíkovo magnetic anomaly could be an ongoing recent metamorphism outreaching to the sedimentary filling, represented by increased resistivities downward from about 5 km, especially in the area of higher temperature. The reason for this explanation is the high susceptibility of the source and the lack of comparability of seismic and magnetotelluric results. In this case the magnetic body would have higher susceptibility due to the high temperature close to the Curie point and it would belong to one of the lower tectonic units of the Alp-Carpathian tectonic system.

LITERATURE

- ÁDÁM A., NAGY Z., NEMESI L., VARGA G. 1990: Crustal conductivity anomalies in the Pannonian basin. *Acta Geod. Geoph. et Mont. Hung.*, **25**, 34, pp. 279–290
- BALLA Z. 1984: The Carpathian loop and the Pannonian basin: a kinematic analysis. *Geophysical Transactions*, **30**, pp. 313–353
- BALLA Z., DUDKO A., KÖVESI G. 1990: The Rába line and the interpretation of gravity anomalies along seismic profile MK–1. *Annual Report of the Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary for 1988–89*, pp. 19–47
- BIELIA A. 1978: Regional geology. (in Slovak) *Západných Kárpát*. Bratislava, pp. 212–224
- BUCHA V., BLIŽKOVSKÝ M., BURDA M., KRS M., SUK M., ŠEFARA J. 1994: Crustal structure of the Bohemian Massif and the West Carpathians. *Praha-Heidelberg*, 355 p.
- ČERV V., PEK J. 1987: Interpretation of magnetotelluric measurements in southeastern Moravia. *Travaux Geophysiques XXXV*, **625**, pp. 125–156
- HORVÁTH F. 1993: Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian Basin. *Tectonophysics*, (Amsterdam) **226**, pp. 333–357

9. ábra. A Duna–Rába medence mélyszerkezetének vázlatos komplex geofizikai modellje.

Jelmagyarázat: $\Delta g_{sedim.} = V_{zcor.}$ —a harmadkori üledékes rétegek gravitációs hatása, amelyet korrekcióként alkalmazva a Bouguer-anomáliára (Δg_B) kapjuk az üledékhatástól megtisztított gravitációs térképet (Δg_{strp}); V_{zmod} —a nagymélységű modellek gravitációs hatása; ΔT —mért és dT —számított mágneses anomália; G.A.—oldalirányból a modellbe beépített gabčíkovói anomália (ld. 3. ábra);

1—szeizmikus eredmények (reflexiós határok); 2—nagyon kis ellenállású rétegek MT-ből; 3—sűrűségmodell (sűrűségértékek g/cm^3 -ben); 4—mágneses modell (egységek 10^{-3} SI-ben); 5—határfelületek: a: litoszféra–asztenoszféra; b: felső köpeny–alsó kéreg (Mohorovičić határfelület); c: alsó kéreg–felső kéreg; 6—Curie-izoterma $^{\circ}C$ -ban

- HRUŠECKÝ I., PERESZLÉNYI M., HÓK J., ŠEFARA J., VASS D. 1993: Geological structure of the Danube basin in the light of new and reinterpreted old geophysical data. (in Slovak) *In*: RAKÚS M. and VOZÁR J. (eds.): Geodynamic model and deep structure of Western Carpathians. Bratislava, pp. 291–296
- KILÉNYI É., KRÖLL A., OBERNAUER D., ŠEFARA J., STEINHAUSER P., SZABÓ Z., WESSELY G. 1991: Pre-Tertiary basement contour map of the Carpathian basin beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary. *Geophysical Transactions* 36, 1–2, pp. 15–36
- MÁRTON E. 1990: Kinematics of the principal tectonic units of Hungary from palaeomagnetic observations. *Acta Geod. Geoph. et Mont. Hung.*, 25, 3–4, pp. 387–397
- MESKÓ A., 1988: Reduced Regional Bouguer Anomaly Map of Hungary. *Acta Geod. Geoph. et Mont. Hung.*, 23, 1, pp. 89–96
- NEMESI L., HOBOT J., KOVÁCSVÖLGYI S., MILÁNKOVICH A., PÁPA A., STOMFAI R., VARGA G., 1994: Investigation of the basin basement and crust structure beneath the Kisalföld (performed in ELGI between 1982 and 1990). (in Hungarian) *Geophysical Transactions* 39, 2–3, pp. 193–223
- POSGAY K., ALBU I., MAYEROVÁ M., NAKLÁDALOVÁ Z., IBRMAJER I., BLIŽKOVSKÝ M., ARIC K., GUTDEUTSCH R. 1991: Contour map of the Mohorovičić discontinuity beneath Central Europe. *Geophysical Transactions* 36, 1–2 pp. 7–13
- SCHEFFER V. 1965: Regional geophysical overview of the edge zone of Eastern Alps. *Földt. Közlöny* XCV, 1, pp. 5–21
- ŠEFARA J. in press: The youngest stage of development of the Western Carpathian lithosphere and its interaction with asthenosphere. *Geolog. Carpathica*, Bratislava
- VARGA G. 1992: Report on the magnetotelluric measurements carried out in Slovakia in 1992, in the framework of the DANREG programme. *GEOCOMPLEX* Bratislava, ELGI Budapest, 45 p.

A nagymélységű kutatások eredményei a DANREG területen

NEMESI László, Ján ŠEFARA, VARGA Géza, KOVÁCSVÖLGYI Sándor

1. A pannon fekü mélységtérképe

A DANREG terület hozzáférhető geofizikai kutatási eredményei között találtunk olyan szeizmikus, magnetotellurikus kutatási eredményeket, amelyek csak közvetve szolgálják a programot, vagy csak adatszintű információi bizonyos geológiai térképeknek, rész-projekteknek (például a tektonikának, a harmadkor előtti aljzat kutatásának, stb.). Másrészt láttuk e kiadvány cikkeiben és térképein, hogy a gravitációs és földmágneses térképek nem magyarázhatók az általánosan ismert és többnyire bevált metodikával (minimum=medence, maximum=kiemelkedés). A magnetotel-

lurikus és szeizmikus kéregkutató szelvényekkel együtt azonban kéreg- és köpenyszerkezeti következtetéseket vonhatunk le. A következőkben ezeket az eredményeket ismertetjük.

Kutatási területünk mély medencéinek meghatározó jelentőségű üledéke a pannon ösztlet. Ennek feksze a szeizmikus mérések legmarkánsabb, folyamatosan követhető reflexiós szintje. Azt mondhatjuk, hogy a geofizika legbiztosabb eredménye a medencékben.

Sajnos, osztrák területéről nem sikerült ezeket az adatokat megszerezni. A térkép alapadatai szlovák területeken a Geofizika Brno mérésein alapulnak, amelyekből új, modern feldolgozó programok felhasználása után HRUŠECKÝ és ŠEFARA szerkesztett térképet. A magyar oldal méréseit nagyobb részt a GKV, kisebb részt az ELGI végezte. Ezekből a 80-as évek végén a GEOS GMK szerkesztett térképeket a MÁFI megbízásából. Később a Kisalföld és a DANREG témában az ELGI-nek voltak újabb mérései, amelyek eredményeit felhasználva PÁPA és HERCZEG nyomán SZEIDOVITZ Győzőné, a tellurikus és magnetotellurikus mérésekkel lefedett területekről NEMESI szerkesztette az itt közölt változatot. A szlovák és a magyar térképrészlet az első kísérletre is szinte tökéletes egyezést mutatott az országhatáron (1. ábra).

A DANREG projekt geológiai programjaiban külön téma az alsópannon és a felsópannon. Ezek vastagságáról, litofáciájáról külön-külön térképet kívánnak szerkeszteni. Ebben azonban kevés segítséget tudunk nyújtani, mert az alsó- és felsópannon határ (csakúgy, mint a korábban szintén bemutatott kvarter-felsőpannon határ) a folyamatos üledékképződés miatt nem jelent éles fizikai határt (sem szeizmikust, sem elektromost). Mivel ezek miatt korábban ilyen térképeket nem szerkesztettek, e téma keretében csak néhány most mért szeizmikus és magnetotellurikus szelvényben vizsgálhattuk ezt a kérdést. Ezeket a geológus kollegáknak át is adtuk, de önálló térképek szerkesztésére anyagaink nem elégségesek.

A pannon ösztletek litológiai tulajdonságairól tájékoztat fajlagos ellenállásuk is. Más közép-európai részmedencék fizikai paramétereivel való összevetés kapcsán feltűnő, hogy az átlagellenállás itt mintegy kétszerese a szokásosnak. Lehetséges, hogy ezzel magyarázható e nagy részmedence eddig feltűnően gyenge szénhidrogén perspektivitása. (A fajlagos ellenállás nagyobb lehet, ha durvább a szemcseméret. Ekkor a képződés feltételeivel lehet gond. Lehet az ösztlet cementáltabb, ez a migráció akadály. Kevesebb lehet az agyagos, záró fedő, ekkor nem alakul ki csapda.)

2. A geofizika eredményei a tektonika kutatásában

A DANREG tektonikai munkacsoportja végignézte a fellelhető szeizmikus szelvényeket és beépítette adataiba. Azonban más eredményeink is közvetve vagy közvetlenül tektonikai vonalakra engednek következtetni. Már a gravitációs térképek tárgyalásánál bemutatott Bouguer-anómália térkép is sejteti például a Hurbanovo-vonalat. A lineamens térkép alapvető célja pedig éppen a tektonikai hatások kiemelése a gravitációs mérési eredményekből.

A geofizikai kutatások egyik legmarkánsabb eredménye azonban a magnetotellurikus mérésekből származik. A *Rába-Hurbanovo-Diősjenő vonalat* egyértelműen e program keretében és ezek a mérések definiálták (2. ábra).

A Rába-vonallról 1949 óta olvashatunk [SCHEFFER 1965], de létét vagy lefutását, a Hurbanovo-vonallal való kapcsolatát sokan tagadták, vagy egészen másként gondolták. Ezek a mérések azonban egyértelművé tették, hogy a vonaltól délre a dunántúli-középhegységi típusú aljzatban 4–10 km mélységben 1–3 Ωm fajlagos ellenállású „elektromos réteg” van, ami a vonaltól északra nem létezik. A 3. ábrán bemutatjuk a vonal két oldalán mért magnetotellurikus ellenállásgörbék közötti meggyőző különbséget. Bármilyen (litológiai, közettani, hidrokémiai) oka is legyen e kisellenállású réteg létének, ezzel a módszerrel mintegy 250 km hosszúságban, 4–6 km széles sávon belül kijelölhetünk egy éles határt. Az a tény, hogy nem sikerült kimutatni, hogy melyik „lemez” csúszik a másik alá, az oldaleltolódási elméleteket [MÁRTON 1990, BALLA 1984] erősíti.

A magnetotellurikus kutatások másik kiemelkedően érdekes eredménye a Bécsi-medencét harántoló szelvényben látható a 2. ábrán is, valamint az ausztriai szelvényszakasznak 2-D inverziós feldolgozását bemutató 4. ábrán. A szelvény északnyugati szélén (az 1. és 2. mérési pontoknál) megfigyelhetjük, hogy a felszínen található felsőkréta-paleogén korú flis fajlagos ellenállása lényegileg nem különbözik a neogén képződményekétől. E zónától délre, a 12. pontig a Bécsi-medence 2–5 km vastag kisellenállású neogén üledékeit, ennek fedőjében a nagyellenállású kvartert, fekéjében pedig (mezozoós) aljzatát látjuk. A 12. ponttól délkelet felé megjelenik az aljzatban és egyre mélyül az a 2–5 Ωm -es anomália, amely a szubdukciók tipikus képét mutatja. Ez a határ az ismert *Mur-Mürz vonal*, amelynek északnyugati felén a Bécsi-medence mezozoós, óceáni, alábukó aljzata, déli felén a kontinentális paleozoós kristályos aljzat ismert.

3. A harmadkor előtti aljzat kutatása

A neogén aljzat a geofizika számára a (pannon fekü után) az egyik legbiztosabban kimutatható szint. A medenceterületek 5–6 km-nél mélyebb részein azonban nehézségeink voltak. Nemcsak a mélyfúrások adatai hiányoznak, de a nehezen fúrható, laza kavicsos felszín miatt a robbantásos szeizmikus méréseknek és a vibrátoros méréseknek is (a nagy mélység miatt is) energia-problémáik voltak. A gravitációs és földmágneses anomáliák jelentős hányada épp a kritikus helyeken jelentős aljzat- (kéreg-) szerkezeti anomáliákkal terhelt, a leggyakoribb tellurikus pulzációk nem érik el az aljzatot, stb.

A terület más részein azonban az elsősorban szeizmikus, kismértékben magnetotellurikus méréseken alapuló kutatás lényegesen megbízhatóbb. Az 5. ábrán látható térképünk az ÖMV, a Geofizika Brno, a SLOVNAFT, a MOL és az ELGI mérésein és mélyfúrási eredményein alapul. A DANREG program keretében lényegileg a fenti cégek adataiból KILÉNYI et. al. [1991] által szerkesztett térképet pontosítottuk az újabb szeizmikus és tellurikus-magnetotellurikus kutatások eredményeinek alapján, főleg a terület középső részén.

4. Az aljzat (a kéreg) belső szerkezetéről

Már ebben a kiadványban is több helyen utaltunk arra, hogy a Bécsi-medence 5000 m-es mélységű (harmadkor előtti) aljzata a Bouguer-anomália térkép alapján mélyebbnek tűnik, mint a Pozsony-Győri-medence, amely pedig 5. ábránk szerint a 8000 m-t is eléri. Ha az üledékhatástól megtisztított gravitációs térképre nézünk (gravitációs kutatási eredmények 8. ábrája), épp ez utóbbi mélymedence területén találunk egy 40 mGal-os maximumot, amelynek déli határa a Rába-Hurbanovo-vonal. Ugyancsak megfigyelhetjük, hogy az e kiadványban közölt mágneses térkép központi területének mágneses maximuma alakját és elterjedését tekintve mennyire kapcsolódik a fent jelzett anomáliákhoz.

Ezt az anomáliát harántolja a Dunával párhuzamosan futó K-1 jelű szeizmikus szelvény (6. ábra). Ennek északi részén 9–10 s között még látható a Mohorovičić diszkontinuitás és más kéregbeli reflexiók szintek is, de a gravitációs-mágneses anomáliák („II”-vel jelölt) területén már egészen a szelvény itt látható végéig (amely durván a Rába-vonalnál van) a szeizmikus kép zavaros, reflexiók nem jelölhetők ki. A gravitációs és földmágneses hatókat tehát ebben a mélységtartományban kell keresnünk. A 7. és a 8. ábrán látható modellszámítás az INTERPEX Ltd. MAGIX programjával készült. A két változat közötti különbség csak annyi, hogy a ható a környezetéből egyenletes emelkedéssel, vagy lépcsős vetők mentén nyomult be és a felszíntől mintegy 10 km-es mélységig (tehát csaknem a neogén aljzatig) jött fel. A mélybeli ható felső részét a 2,7 t/m³ sűrűségű aljzatnál 0,3 t/m³-rel sűrűbb bazaltos alsó kéregnek, alsó részét a kéregbe nyomuló köpeny anyagnak tekintjük.

A mágneses anomáliák hatója nem azonos a gravitációs hatóval, már csak az 578 °C értékű Curie-pont miatt sem, de azzal szoros kapcsolatban van és mindenképpen a hatótestek döntő tömege

az aljzatban keresendő. A mágneses hatók helyileg hol a gravitációs ható szélein, hol a közepén találhatók, de sűrűségeik a normál aljzat sűrűségétől alig különbözhetnek.

Végül ŠEFARA professzor összefoglalásul bemutat egy modellt (9. ábra), amelyet a Bécsi-medencéből indulva mintegy 200 km hosszúságban alkotott meg. Ehhez felhasznált minden olyan újabb ismeretet, amelyet a térség mélyszerkezetéről, kéreg- és köpenyszerkezetéről 1989 és 1994 között publikáltak. A modellnek az eddig nem részletezett részletei közül kiemeljük azt, hogy a Duna-medence központi részében asztenoszféra kiemelkedést is feltételez. A hivatkozott szerzők: BUCHA et al. [1984], IBRMAJER [in BUCHA et al. 1984], HRUŠECKÝ et al. [1993], BABUSKA [in BUCHA et al. 1984], HORVÁTH [1993], POSGAY et al. [1991], ČERV, PEK [1987], VARGA [1992].

